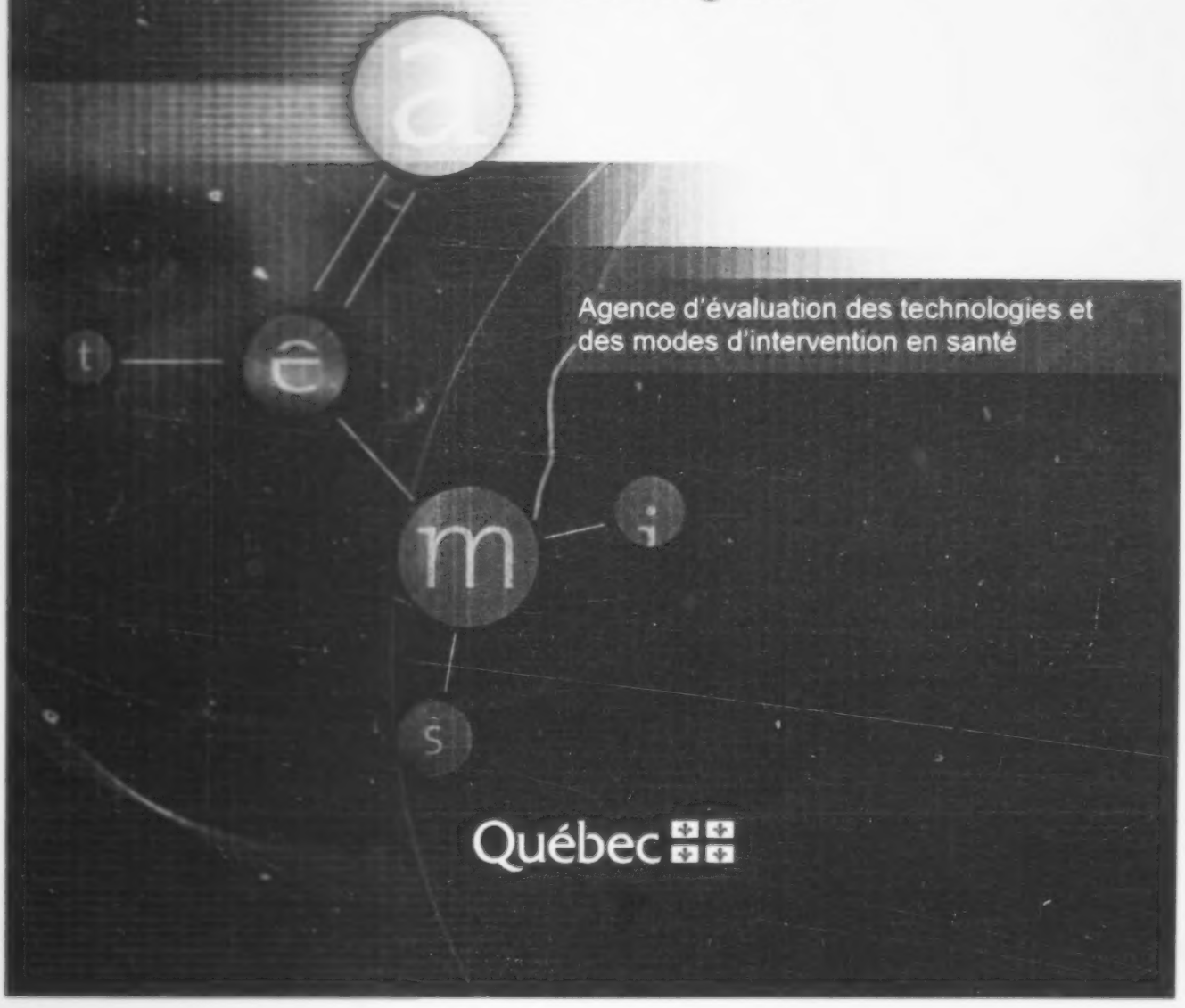
Efficacy of directional-microphone hearing aids



Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé

Québec

Efficacy of directional-microphone hearing aids

Technical note prepared for AETMIS
by François Bergeron

Original French version: May 2003
English translation: July 2003

Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé
Québec

This report was translated from an official French publication of the
Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS)
by Jocelyne Lauzière, MA, trad. Both the original document,
titled *Efficacité des prothèses auditives à microphones directionnels*,
and its English version are available in PDF format on the Agency's Web site.

For further information about this publication or any other AETMIS activity, please contact:

Agence d'évaluation des technologies et
des modes d'intervention en santé
2021, avenue Union, bureau 1040
Montréal (Québec) H3A 2S9

Tel.: (514) 873-2563
Fax: (514) 873-1369
e-mail: aetmis@aetmis.gouv.qc.ca
http://www.aetmis.gouv.qc.ca

How to cite this report:

Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS).
Efficacy of directional-microphone hearing aids. Technical note prepared by François Bergeron.
(AETMIS 03-03). Montréal: AETMIS, 2003, x-23 p.

Legal deposit
Bibliothèque nationale du Québec, 2003
National Library of Canada, 2003
ISBN 2-550-41049-1

© Gouvernement du Québec, 2003

This report may be reproduced, in whole or in part, provided that the source is cited.

MISSION

The mission of the *Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé* (AETMIS) is to contribute to improving the Québec health-care system and to participate in the implementation of the Québec government's scientific policy. To accomplish this, the Agency advises and supports the Minister of Health and Social Services as well as the decision-makers in the health-care system, in matters concerning the assessment of health services and technologies. The Agency makes recommendations based on scientific reports assessing the introduction, diffusion and use of health technologies, including technical aids for disabled persons, as well as the modes of providing and organizing services. The assessments take into account many factors, such as efficacy, safety and efficiency, as well as ethical, social, organizational and economic implications.

Executive

Dr. Renaldo N. Battista
President and chief executive officer, epidemiologist, McGill University, Montréal

Dr. Véronique Déry
Public-health physician, scientific director

Jean-Marie R. Lance
Economist, senior scientific advisor

Board of Directors

Dr. Jeffrey Barkun
Associate professor, Department of Surgery, Faculty of Medicine, McGill University, and surgeon, Royal Victoria Hospital (MUHC), Montréal

Dr. Marie-Dominique Beaulieu
Family physician, holder of the Dr. Sadok Besrour Chair in Family Medicine, CHUM, and researcher, Unité de recherche évaluative, Hôpital Notre-Dame (CHUM), Montréal

Dr. Suzanne Claveau
Specialist in microbiology and infectious diseases, Hôtel-Dieu de Québec (CHUQ), Québec

Roger Jacob
Biomedical engineer, head, Construction Services, Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal-Centre, Montréal

Denise Leclerc
Pharmacist, board member of the Institut universitaire de gériatrie de Montréal, Montréal

Louise Montreuil
Assistant executive director, Direction générale de la coordination ministérielle des relations avec le réseau, ministère de la Santé et des Services sociaux, Québec

Dr. Jean-Marie Moutquin
Obstetrician/gynecologist, executive director, Centre de recherche, CHUS, Sherbrooke

Dr. Réginald Nadeau
Cardiologist, Hôpital du Sacré-Cœur, Montréal

Guy Rocher
Sociologist, full professor, Département de sociologie, and researcher, Centre de recherche en droit public, Université de Montréal, Montréal

Lee Soderstrom
Economist, professor, Department of Economics, McGill University, Montréal

FOREWORD

EFFICACY OF DIRECTIONAL-MICROPHONE HEARING AIDS

As part of the review of the *Programme d'aides auditives*, the *Ministère de la Santé et des Services sociaux* formed an advisory group mandated to recommend appropriate amendments to ministry officials. The work of the subcommittee on new technologies led the group to ask the *Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé* (AETMIS) to rule on the clinical efficacy of directional-microphone hearings aids.

Difficulty understanding speech in the presence of noise is a common cause of users' dissatisfaction with hearing aids. Several technological approaches have been explored to offer hearing-impaired people better listening ability in noisy environments. Work on microphone directionality has pursued this goal.

According to AETMIS's evaluation, the few studies presenting an intermediate level of evidence allow us to classify as "experimental" technologies both single-microphone solutions and approaches based on a microphone array. These solutions appear promising but further controlled trials will be required to confirm their efficacy.

Dual-microphone approaches can be considered "accepted" technologies but only in optimal listening conditions, when the speaker and the noise are diametrically opposite each other in environments with low reverberation. The application of this technology in other conditions reduces (sometimes significantly) their effectiveness. Finally, eligibility requirements for devices with the directionality option must take into account the candidate's physical and cognitive abilities to use the directional properties effectively.

In submitting this report, AETMIS wishes to provide decision makers in the Québec health-care system with the necessary information to offer appropriate services to people with a hearing loss.

Renaldo N. Battista
President and chief executive officer

ACKNOWLEDGMENTS

This technical note was prepared at the request of the *Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé* (AETMIS) by François Bergeron, PhD, audiologist, assistant professor, Département de réadaptation, Faculté de médecine, Université Laval, and associate researcher, *Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale* (CIRRIS). We would like to express our sincere appreciation for his work.

The author also received the unflagging support of a working group who read and commented on the different drafts of this report. We would like to thank each of the members of this group, namely:

François Bergeron
Audiologist, assistant professor, Département de réadaptation, Université Laval, Québec

Linda Cloutier
Hearing-aid acoustician, professor, Collège de Rosemont, Montréal

Bernard Côté
Program-management consultant, Régie de l'assurance maladie du Québec, Québec

Martine Gendron
Audiologist, Hôpital Sainte-Justine, Montréal

Christian Giguère
Engineer, associate professor, School of Rehabilitation Sciences, University of Ottawa, Ottawa

Jean-Marie Lance
Senior scientific advisor, AETMIS, Montréal

Michel Picard
Audiologist, associate professor, École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal, Montréal

AETMIS also thanks the external reviewers whose many comments helped improve the quality and content of this report.

Gilles Cagnone
Hearing-aid acoustician, professor, Département d'audioprothèse, Collège de Rosemont, Montréal, Québec

François Le Her
Hearing-aid acoustician, Laboratoire F. Le Her, Rouen, France

Yves Tougas
Hearing-aid acoustician, professor, Département d'audioprothèse, Collège de Rosemont, Montréal, Québec

Richard Tyler
Professor, Department of Otolaryngology – Head and Neck Surgery, Department of Speech Pathology and Audiology, University of Iowa, Iowa City

SUMMARY

Origin of the request for evaluation

Since 1979 the *Ministère de la Santé et des Services sociaux* (MSSS) has offered a program giving free access to hearing devices to Québec residents with a hearing loss. Administered by the *Régie de l'assurance maladie du Québec*, this program has since undergone several changes in both its coverage and its eligibility requirements. Initially limited to hearing aids for people up to the age of thirty-five, the program now includes a wide range of hearing devices available to people of all ages.

To take into account technological advances and to better meet people's needs, the MSSS formed an advisory group mandated to review this program and to recommend appropriate amendments to ministry officials. The work of the subcommittee on new technologies led the advisory group to ask AETMIS to rule on the clinical efficacy of multi-microphone hearing aids.

Description of hearing aids

Deafness is essentially manifested by a reduced ability to perceive acoustic signals in the environment. Even when audibility has been restored by means of a hearing aid, people with hearing impairment need better listening conditions than people with normal hearing to perform well on speech-intelligibility tasks. Difficulty understanding speech in the presence of noise is a common cause of users' dissatisfaction with hearing aids, irregular use and disuse. Several technological solutions have been explored to offer hearing-impaired people better listening ability in a noisy environment. Work on microphone directionality has pursued this goal.

The application of the principles of directionality to hearing aids offers the possibility of improving the signal-to-noise ratio (SNR) even when speech and noise are similar. This solution is especially relevant when speech and noise come from sources that are spacially separate. In theory, omnidirectional microphones pick up sounds equally from all directions, as opposed to directional microphones that respond more to sounds emitted from a specific direction. Applied to deafness, directionality targets sounds coming from the front, that is, where a speaker would normally be.

The first directional microphones were incorporated into hearing aids at the beginning of the 1970s. By 1980 they represented nearly 20% of all manufacturers' sales. The popularity of in-the-ear hearing aids, along with distributors' scepticism, later led to a gradual decline in the demand for this approach. Newer technological prospects, particularly miniaturization, as well as advances in electronic and digital signal processing, have recently renewed researchers' interest in hearing-aid directionality.

Analysis of scientific data

The literature-search strategy for querying the databases located seventeen articles dealing with directional hearing aids in the last decade. Nineteen supplementary documents were obtained from the expert group or taken from the bibliographic references cited in the articles. This literature includes twenty-four studies reporting on clinical trials. None of the reports relies on a study design with the highest level of evidence, that is, a randomized crossover trial with high statistical power, but all of them present data comparing hearing aids with different directionality (e.g., omnidirectional vs directional) worn by the same subjects, following a crossover design, with or without randomization. The sample sizes are generally small.

Regardless of the technological approach used, all of the studies (i.e., those with an intermediate level of evidence as well as those with a low level of evidence) show that hearing aids with directional properties provide speech-intelligibility benefit in noisy environments. This advantage is optimal in listening conditions where the noise is behind and the speaker in front of the hearing-impaired person in an environment with low reverberation. In listening situations more representative of daily reality, where noise is diffuse and the room reverberant, this advantage decreases to

the point of becoming comparable to that provided by conventional hearing aids with omnidirectional microphones.

Conclusion

With respect to directional properties, the few studies available presenting an intermediate level of evidence allow us to classify as "experimental" technologies both single-microphone solutions and approaches based on a microphone array. These solutions seem promising, but additional controlled trials will be required to confirm their efficacy.

Dual-microphone approaches can be considered "accepted" technologies but only in optimal listening conditions, when the speaker and the noise are diametrically opposite each other in rooms with low reverberation. The application of this technology in other conditions reduces (sometimes significantly) their effectiveness. Finally, eligibility requirements for devices with the directionality option must take into account the candidate's physical and cognitive abilities to use the directional properties effectively.

GLOSSARY

Anechoic:
Having no reverberation.

Assistive listening device (ALD):
Any device that is part of a user's environment and designed to compensate for a hearing impairment, to prevent or alleviate a handicap situation.

Binaural:
Involving both ears. Binaural means that a hearing aid is fitted to each ear, as opposed to a monaural system in which only one ear is fitted with a hearing aid.

Hearing aid:
Any device worn by a user that is designed to correct a hearing impairment, to compensate for a hearing disability, to prevent or alleviate a handicap situation.

Hearing device:
Any device designed to correct a hearing impairment, to compensate for a hearing disability, to prevent or alleviate a handicap situation.

Linear:
Relating to a hearing aid that provides a fixed level of amplification regardless of the intensity of the incident acoustic signal. By definition, these devices do not have compression circuits allowing for more or less advanced methods of processing the dynamic range of the sound environment.

Signal-to-noise ratio (SNR):
Ratio of the sound intensity of a signal and that of competing noise, expressed in decibels (dB).

Speech reception threshold (SRT):
The sound intensity required for recognition of 50% of two-syllable words, expressed in decibels (dB).

TABLE OF CONTENTS

FOREWORD v

ACKNOWLEDGMENTS vi

SUMMARY vii

GLOSSARY ix

1. Introduction 1

    1.1. Origin of the request for evaluation 1

    1.2. A technological solution to improving hearing: microphone directionality 1

2. Methods 2

3. Description of directional microphones 3

    3.1. Principles 3

    3.2. Properties 5

    3.3. Use 7

4. Results 7

5. Discussion 15

6. Conclusion 17

Appendix A – Coverage of the *Programme d'aides auditives* and eligibility requirements 18

Appendix B – Critical appraisal checklist 20

Appendix C – Classification of levels of evidence 21

References 22

1. INTRODUCTION

1.1. Origin of the request for evaluation

Since 1979 the *Ministère de la Santé et des Services sociaux* (MSSS) has offered a program giving free access to hearing devices to Québec residents with a hearing loss. Administered by the *Régie de l'assurance maladie du Québec*, this program has since undergone several changes in both its coverage and its eligibility requirements. Initially limited to hearing aids for people up to the age of thirty-five, the program now includes a wide range of hearing devices available to people of all ages. Tables A1a and A1b in Appendix A summarize the coverage and eligibility requirements drawn from the latest revision of the program (1997).

To take into account technological advances and to better meet people's needs, the MSSS formed an advisory group mandated to review this program and to recommend appropriate amendments to ministry officials. The work of the subcommittee on new technologies led the advisory group to submit two requests for evaluation to AETMIS to allow it to rule on the clinical efficacy of multi-microphone hearing aids, on the one hand, and on that of programmable analog hearing aids, on the other. This technical report deals with the first request, that is, the analysis of multi-microphone hearing aids.

1.2. A technological solution to improving hearing: microphone directionality

Deafness is essentially manifested by a reduced ability to perceive acoustic signals in the surrounding environment. Depending on the degree and nature of the hearing loss, perceptual disorders will be more or less pronounced. For the majority of people with a hearing loss, neither medical nor surgical treatment is recommended because of the sensorineural origin of their auditory-system lesions. For such people, the therapeutic approach initially favoured consists in fitting them with one or two hearing aids. An attempt is thus made to compensate for the loss of audibility of the sound environment and, more particularly, of speech, by selectively amplifying the sounds rendered inaudible through the hearing loss.

Furthermore, restoring audibility compensates for only part of the disabilities caused by deafness. In fact, sensorineural lesions cause other psychoacoustic disturbances, notably distortions in frequency, dynamic and temporal perception. The disabilities resulting from these distortions arise particularly in adverse listening situations such as conversations in groups or classrooms, or in noisy workplaces. Difficulty understanding speech in noise is a frequent cause of users' dissatisfaction with hearing aids, irregular use and disuse [May et al., 2000]. As a result, even when audibility is restored, people with a hearing loss need better listening conditions to perform well on speech-intelligibility tasks [May et al., 2000]. Table 1 shows the increasing need to favour speech sounds over noise (signal-to-noise ratio) in relation to the degree of hearing loss.

According to Soli and Nilsson, each improvement by 1 dB in signal-to-noise ratio could lead to an improvement in speech-recognition performance of the order of 8.5% [Soli and Nilsson, 1994, cited in Valente et al., 1995]. These findings have led to the exploration of a wide range of technological approaches to offering improved listening ability in noisy environments. Work on microphone directionality has pursued this goal.

Table 1.
Relationship between degree of deafness and loss of signal-to-noise ratio (tested at high intensity)

Degree of deafness (average of pure tones at 0.5, 1 and 2 kHz)	Average loss of signal-to-noise ratio
30 dB HL	4 dB
40 dB HL	5 dB
50 dB HL	6 dB
60 dB HL	7 dB
70 dB HL	9 dB
80 dB HL	12 dB*
90 dB HL	18 dB*

Abbreviations: dB (decibel); dB HL (hearing level)
* Estimated
Source: Killion, 1997.

2. METHODS

The evaluation methods used here are based on the critical appraisal of scientific publications and on the contributions of members of a working group composed of experts who have studied this topic. This group included seven experts from the disciplines of audiology, audioprothesis, economics and engineering. The list of members, their respective disciplines and their institutional affiliations appear in the Acknowledgments section of this report.

The literature search was carried out through MEDLINE and Cochrane database queries covering the period from January 1990 to May 2002. It was limited to publications written in French or in English. The specific strategy used and the results are presented in Table 2. The database query was supplemented by publications provided by the experts consulted or taken from the bibliographical references cited in the articles.

Table 2.
Literature-search strategy

Filter	Keywords			Results	
				M	C
Directional hearing aid	hearing aid	AND	multimicrophone multiple microphone dual microphone microphone array directional	16	1

M=MEDLINE, C=Cochrane

The articles retrieved from the search, as well as the supplementary publications submitted by the group of experts, were appraised according to the critical-appraisal checklist shown in Appendix B. This checklist was developed by the French National Agency for Accreditation and Evaluation in Health (*Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé*, ANAES, 2000) with a view to standardizing the literature-classification procedure according to the quality of the methodology and the level of scientific evidence. The level of scientific evidence is based on the classification proposed by ANAES (Appendix C). The presence of multiple methodological bias in a study lead to a downgrading of the quality level. Following the literature search and critical appraisal of the selected articles, a draft of this document was submitted to the expert group.

Hearing aid evaluation protocols are often based on a study plan with a crossover design. This type of controlled trial is appropriate in the case of relatively stable chronic conditions and for the study of short-term effects. In this experimental design, all the trial subjects undergo the same treatment or wearing periods. The subjects become their own controls since they are exposed in turn to the different devices. Crossover trials are considered randomized when the order of the wearing period is selected at random for each subject. This procedure implies that half of the subjects receive hearing aid A followed by hearing aid B, and the other half receive hearing aid B followed by hearing aid A. Randomization is important for controlling delayed effects (the continuation of the effect produced by the first hearing aid while the second is being worn) and order effects (the extent of the effect of wearing hearing aid A may be modified if it precedes or follows the wearing of hearing aid B).

3. DESCRIPTION OF DIRECTIONAL MICROPHONES

3.1. Principles

The approach generally favoured for improving speech intelligibility in noise by optimizing the signal-to-noise ratio is based on attenuating noise in a frequency spectrum other than that for speech [Ricketts and Dhar, 1999]. This solution poses an obvious problem when competing noise is or resembles speech. Applying the principle of directionality offers the possibility of improving the signal-to-noise ratio even when speech and noise are similar. This alternative solution is especially relevant when speech and noise come from sources that are spatially separate.

In theory, omnidirectional microphones pick up sounds equally from all directions, as opposed to directional microphones that respond more to sounds emitted from a specific direction. Applied to deafness, directionality targets sounds coming from the front, that is, where a speaker would normally be. This configuration is in fact generally chosen in order to favour the visual cues derived from lipreading. Although it is often desirable to give priority to frontal sounds, situations exist in which this configuration is not optimal and even to be avoided. This is especially true in the case of a new speaker entering a room, intercom messages or alarm signals.

The design of a directional microphone is based on the acoustic or electronic subtraction of similar sounds received in two different places. The acoustic approach makes use of a single microphone with two ports (Figure 1). Sound coming from behind is initially picked up by the first (or rear) port. Delayed by a mechanical resistance, it reaches the surface of the microphone diaphragm at the same time as the same noise is picked up in turn by the second (or front) port. By exerting equal pressure on both sides of the diaphragm, the two practically identical signals cancel each other out. In contrast, speech coming from the front will not be attenuated because of the delay caused by the physical gap between the two ports and by the mechanical resistance. The electronic approach is similar: this process makes use of the electrical signal emitted by two or more microphones, and the delay is caused electronically or, more recently, digitally (Figure 2).

Figure 1. Directional microphone with two ports

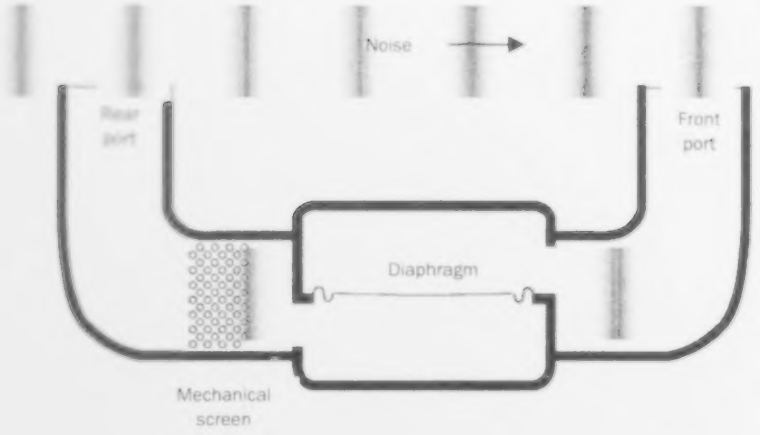
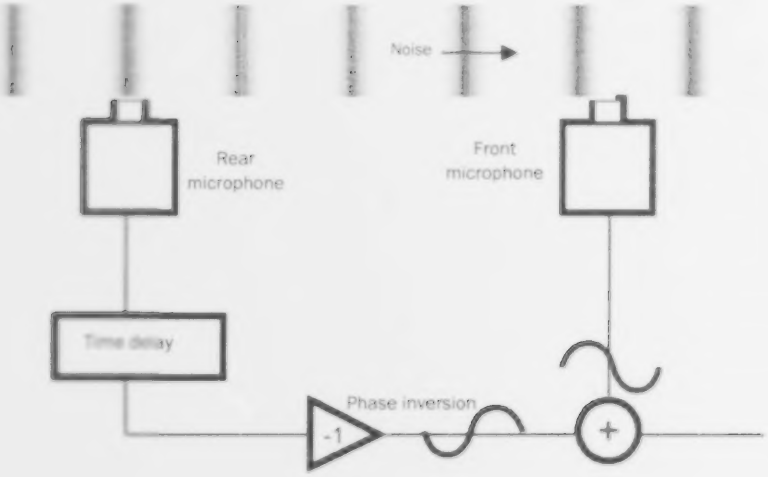


Figure 2. Multi-microphone directional system



3.2. Properties

The system's directional properties are determined by the ratio of the time delay caused by the port spacing in the microphone(s) (external delay) to the mechanical or electronic delay (internal delay). Because of the importance of the external delay in ensuring functional directivity, the microphone-array solution cannot be applied directly to behind-the-ear or in-the-ear hearing aids given that the microphones take up too much space. These systems are therefore incorporated into the temples of a pair of eyeglasses or into a neck-worn apparatus (Figure 3). The directional properties are generally displayed as a polar plot (Figures 4 and 5) indicating the microphone's sensitivity at 360 degrees azimuth. The polar patterns in Figure 4 are derived from test conditions in which the microphone is placed alone in an anechoic chamber. The following numerical indices are also used:

- FBR (front-to-back ratio): difference between a microphone's sensitivity to sounds at 180 degrees and its sensitivity to sounds at 0 degrees.
- UI (unidirectional index): ratio of a microphone's sensitivity to frontal sounds (between 270 and 90 degrees) to its sensitivity to sounds coming from the back (between 90 and 270 degrees).
- DI (directivity index): difference between a microphone's sensitivity to sounds directly in front of the microphone (0 degrees) and its sensitivity to sounds coming from any other direction.
- AI-DI (articulation index-weighted directivity index): weighted directivity index for speech comprehension (articulation index).

Figure 3. Microphone array on a neck-worn apparatus

Figure 4. Polar patterns of microphones with different directional properties [Gennum, 2000]

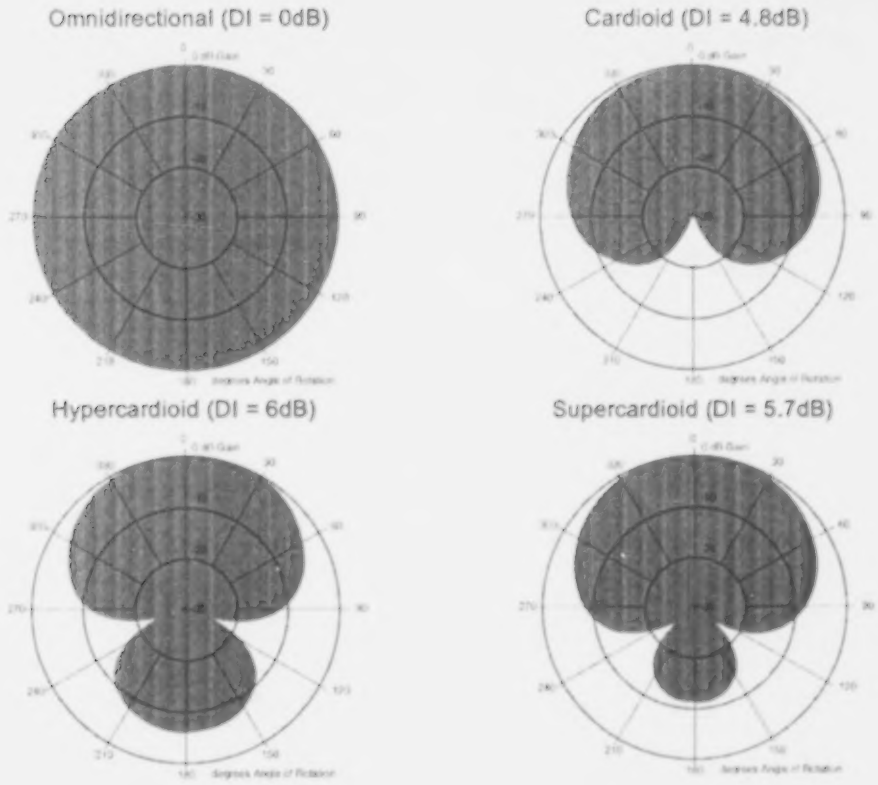


Figure 5. Polar plot at 5kHz of two models of omnidirectional hearing aids showing that the position in situ produces a directional effect [Kuhn, 1980]

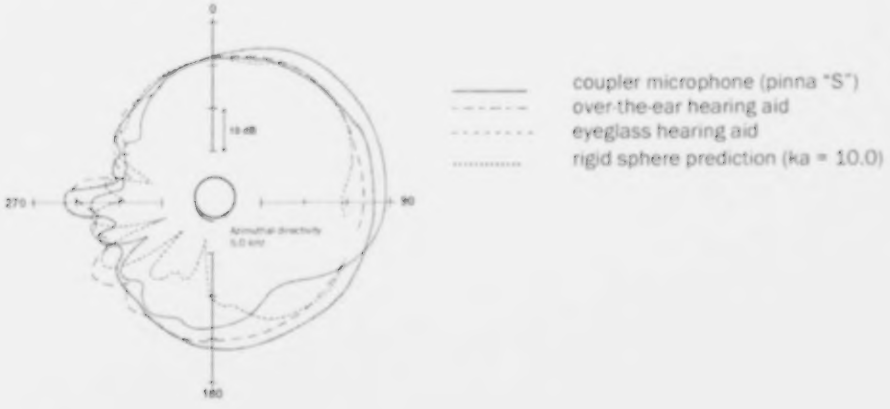


Figure 4. Polar patterns of microphones with different directional properties (Sennheiser, 1988)

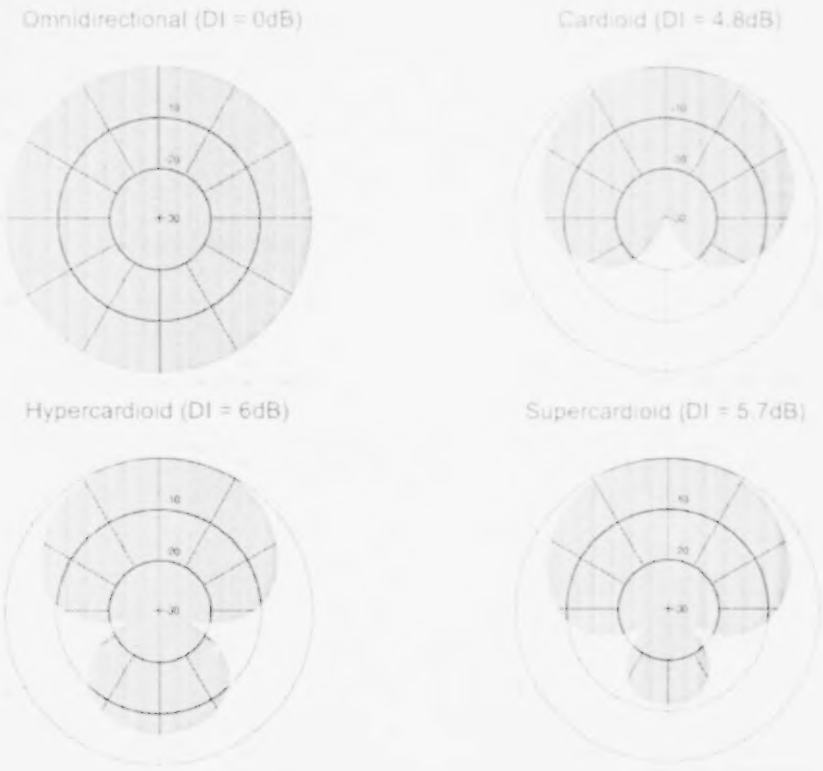


Figure 5. Polar plot at 5kHz of two models of omnidirectional hearing aids showing that the position in situ produces a directional effect (Kuhn, 1980)

3.3. Use

The first directional microphones were integrated into hearing aids in the early 1970s [Mueller et al., 1981, cited in Ricketts and Mueller, 1999]. By 1980 directional hearing aids represented nearly 20% of manufacturers' sales. The popularity of in-the-ear aids—which are too small to house a directional microphone—along with researchers' scepticism about the real benefits that users could derive from it, led to a gradual decline in demand for this approach. Killion et al. [1998] indicate that directional aids at that time had a directivity index (DI) of 1.6 dB, that is, a gain comparable to that obtained by placing the hand behind the external ear.

New technological prospects, especially miniaturization, as well as advances in electronic and digital signal processing, have recently rekindled researchers' interest in hearing-aid directionality. Supply and demand are nevertheless weak: a brief investigation reveals that Canadian manufacturers offer the directional option in only 2% of their products and barely 1% of the hearing aids sold have it. Consumer interest in this option seems to be on the rise, but consumers must spend from $100 to $300 more for each hearing aid. This option is included in several of the new fully digital models.

4. RESULTS

The literature-search strategy for querying the databases located seventeen articles. Nineteen supplementary publications were obtained from the expert group or taken from the bibliographic references cited in the articles. This literature includes twenty-four studies reporting on clinical trials of directional hearing aids. Table 3 (a, b, c) summarizes the studies according to the technological approach used to ensure directionality, that is, a) single microphone and acoustic-cancellation procedure; b) dual microphone with electronic or digital signal processing; and c) microphone array with electronic or digital signal processing. In each category, the studies are ranked in descending order of strength of evidence according to the classification scheme presented in Appendix C.

None of the studies involves a design with the highest level of evidence, that is, a randomized crossover trial with high statistical power (with a sufficiently large sample size and devoid of bias affecting the internal validity). All of the studies, however, include a crossover design, some of which are randomized, but with low statistical power, and others not. The classic study plan is based on a comparison of the sound intensity required (threshold) for recognition of 50% of speech material presented frontally (0° azimuth) in a noisy environment with and without making use of the hearing aid's directional capability. Results are expressed in speech reception threshold (SRT) reduction or in signal-to-noise ratio (SNR) improvement. The nature and source of the ambient noise are variable: certain study protocols are carried out in everyday listening situations (sentence recognition in a restaurant); others are carried out in typical laboratory conditions (recognition of words presented at 0 degrees in a controlled environment in the presence of a noiseband emitted by a loudspeaker located at 180 degrees). Sample sizes are generally small.

Table 3.
Summary of the selected studies according to the principle of directionality and level of scientific evidence

a) Directionality using one microphone

Source	Method			Results	Level of evidence
Author, year (country)	N	Study design	Variables		
Leeuw and Dreschler, 1991 (Netherlands)	12 n	Randomized crossover trial	Independent: hearing aid (omnidirectional vs directional), noise direction and level, reverberation, binaurality Dependent: frequency spectrum, SRT in noise (0°, 45°, 90°, 135°, 180°), location	SRT with directional aid < 1.5 to 7 dB Reverberation effect Effect from direction of background noise (non-reverberant environment)	2
Novick et al., 2001 (USA)	10 h	Non-randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs directional), amplitude-compression release times, binaurality, reverberation Dependent: sentence recognition in noise (2 tests)	SNR with directional configuration > 1.5 to 2.5 dB No release-times effect Binaural > monaural Reverberation effect No significant effect with the second test	2
Killion et al., 1998 (USA)	12 n 24 h	Non-randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs directional), simulated environment (restaurant, street, museum) Dependent: sentence recognition in noise	SNR with directional configuration > 3.5 to 11.5 dB Environmental effect	2
Kuk et al., 1999 (USA)	20 h	Non-randomized crossover trial	Independent: hearing aid (personal omnidirectional analog vs digital directional), degree of hearing loss (mild-to-moderately severe vs moderate-to-severe) Dependent: word recognition in noise (180°), evaluation (questionnaires)	SNR with digital directional hearing aid > 5.5 to 8 dB Effect from degree of hearing loss Subjective preference for digital directional aid	3

n = subjects with normal hearing; h = subjects with a hearing loss.

Table 3.
Summary of the selected studies according to the principle of directionality and level of scientific evidence (cont'd)

b) Directionality with two microphones

Source	Method			Results	Level of evidence
Author, year (country)	N	Study design	Variables		
Larsen et al., 1998 (study described in May et al., 2000) (Denmark)	19 h	Randomized crossover trial	Independent: hearing aid (digital vs digitally programmable multi-microphone) Dependent: recognition of monosyllables in noise (45°, 135°, 225°, 315°), evaluation (scales, questionnaires)	SNR with multimicrophones > 3.6 dB Preference for multimicrophones (13/19)	2
Preves et al., 1999 (USA)	10 h	Non-randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs 2 microphones) Dependent: sentence recognition in noise (115° + 245°), preferences (questionnaires, interview, paired-comparison judgments)	SNR with 2 microphones > 2.5 dB Non-significant preference for 2 microphones Importance of having both omni and directional options	2
Ricketts, 2000b (USA)	25 h	Randomized crossover trial	Independent: hearing aid (3 brands), configuration (omni vs directional), reverberation (living room vs class-room), noise source (4 loudspeaker configurations) Dependent: sentence recognition in noise (different angles)	Thresholds in directional mode < 1.5 to 7.8 dB Significant interaction among the type of aid, reverberation and position of noise source	2

n = subjects with normal hearing; h = subjects with a hearing loss.

b) Directionality with two microphones (cont'd)

Source	Method			Results	Level of evidence
Author, year (country)	N	Study design	Variables		
Ricketts et al., 2001 (USA)	47 h	Randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs directional), compression vs linear, type of aid (behind-the-ear vs in-the-ear) Dependent: sentence recognition in noise (2 tests, diffuse noise, by 5 loudspeakers)	Thresholds in directional mode < 2.2 to 2.9 dB Speech recognition in directional mode > 13% to 23% No compression effect Behind-the-ear < in-the-ear Directivity Index (DI) predicts directional benefit.	2
Ricketts, 2000c (USA)	20 h	Randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs directional), binaurality (monaural vs binaural), listening angle (0°, 15°, 30°) Dependent: sentence recognition in noise (diffuse, by 5 loudspeakers)	Thresholds in directional mode < 3 to 4.3 dB Directional effect > binaural effect + listening angle	2
Walden et al., 2000 (USA)	40 h	Randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs directional), type of aid (linear vs 2-channel analog wide dynamic range compression vs digital) Dependent: sentence recognition in noise, questionnaires (90°, 180°, 270°)	Speech recognition in directional mode > 20% to 30% Analog wide dynamic range compression = digital dynamic compression > linear No subjective differences in everyday listening environment	2
Agnew and Block, 1997 (USA)	20 h	Randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs dual- microphone) Dependent: sentence recognition in noise (180°)	SNR with dual-microphone > 7.5 dB	2

n = subjects with normal hearing; h = subjects with a hearing loss

b) Directionality with two microphones (cont'd)

Source	Method			Results	Level of evidence
Author, year (country)	N	Study design	Variables		
Gravel et al., 1999 (USA)	20 h	Randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs dual-microphone), speech material (words vs sentences), age (4- to 6-yr-olds vs 7- to 11-yr-olds) Dependent: recognition of speech material in noise (180°) (2 tests, diffuse noise, by 5 loudspeakers)	SNR with dual-microphone > 4.7 dB Significant effect from age Significant effect from type of speech material	2
Labonté, 2000 (Canada)	21 n	Randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs 2 microphones), noise source (2 angles) Dependent: SRT in noise (180°, 210°, SNR 0 dB),	SRT with 2 microphones < 13 dB No effect from noise-source angle	2
Lurquin and Rafhay, 1996 (Belgium)	20 n 33 h	(Non-randomized ?) crossover trial	Independent: configuration (normal hearing vs omni vs dual-microphone) Dependent: recognition of two-syllable words in noise (180°)	SNR with dual-microphone > 6.6 dB = normal	2
Pumford et al., 2000 (Canada)	24 h	Randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs directional + party response algorithm) Dependent: recognition of sentences in noise (by 4 loudspeakers)	Thresholds in directional mode + party response algorithm < 5.8 dB with a behind-the-ear aid < 3.3 dB with an in-the-ear aid	2

n = subjects with normal hearing; h = subjects with a hearing loss.

b) Directionality with two microphones (cont'd)

Source	Method			Results	Level of evidence
Author, year (country)	N	Study design	Variables		
Ricketts and Dhar, 1999 (USA)	12 h	Randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs directional), hearing aid (3 brands), reverberation (anechoic room vs living room) Dependent: sentence recognition in noise (delivered by 5 loudspeakers)	Thresholds in directional mode < 5 to 7 dB Reverberation effect No brand differences	2
Valente et al., 1995 (USA)	50 h (two sites)	Randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs dual-microphone) Dependent: sentence recognition in noise (180°), evaluation (questionnaire)	SNR with dual-microphone > 7.4 to 8.5 dB Significant preference for dual-microphone in noise	2
Wouters et al., 1999 (Belgium)	10 h	Non-randomized crossover trial	Independent: hearing aid (personal omni vs programmable omni vs 2 microphones), type of noise (speech, traffic, restaurant), speech material (words vs sentences) Dependent: recognition of speech material in noise (90°)	SNR with 2 microphones > 3.4 dB	2

n = subjects with normal hearing; h = subjects with a hearing loss.

b) Directionality with two microphones (cont'd)

Source	Method			Results	Level of evidence
Author, year (country)	N	Study design	Variables		
Kompis and Dillier, 1994 (Switzerland)	9 n 6 h	Non-randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs directional vs digital processing) Dependent: Identification of consonants and vowels in noise (45°)	Digitally controlled omni and directional modes > directional > omni	3
Kühnel et al., 2001 (Switzerland)	21 h	Non-randomized crossover trial	Independent: configuration (omni vs directional + party response algorithm) Dependent: sentence recognition in noise (180°), evaluation (questionnaires)	Thresholds in directional mode + party response algorithm < 13.7 dB Subjective preference for directional mode + party response algorithm	3
Warland, 1998 (study described in May et al., 2000) (Norway)	22 h	Non-randomized crossover trial	Independent: hearing aid (personal digital vs multimicrophones) Dependent: recognition of monosyllables in noise (0°), evaluation (scales, questionnaires)	Better performance with multimicrophones (16/20) Preference for multimicrophones (17/22)	4

n = subjects with normal hearing; h = subjects with a hearing loss.

Table 3.
Summary of the selected studies according to the principle of directionality and level of scientific evidence (cont'd)

c) Directionality with a microphone array

Source	Method			Results	Level of evidence
Author, year (country)	N	Study design	Variables		
Saunders and Kates, 1997 (USA)	16 h	Randomized crossover trial	Independent: microphone (omni vs cardioid vs 2 array processing techniques), reverberation (office vs conference room) Dependent: SRT in noise (60°, 105°, 180°, 255°, 300°)	SRT with superdirective array processing < 4.7 to 6.2 dB Cardioid < 1.9 to 4.3 dB Digitally controlled array < 0.9 to 1.5 dB Significant reverberation effect	2
Hoffman et al., 1994 (USA)	10 n	Non-randomized crossover trial	Independent: number of microphones (1 vs 3 vs 7), reverberation (anechoic room vs living room vs conference room) Dependent: recognition of two-syllable words in noise (45°)	SNR with 7-microphone array > 3.1 to 22.7 dB SNR with 3-microphone array > 1.4 to 15.4 dB Reverberation effect	3
Bilsen et al., 1993 (Netherlands)	30 n 45 h	Randomized crossover trial	Independent: microphone (omni vs array), deafness (subjects with normal hearing vs subjects with hearing impairment) Dependent: SRT in noise (diffuse)	SNR with microphone array > 6.8 to 7 dB	4

n = subjects with normal hearing; h = subjects with a hearing loss.

Directionality with a single microphone

Very few studies published since 1990 have been found to make use of the acoustic approach for hearing-aid directionality. This finding reveals manufacturers' predilection for modern multi-microphone formulas and rejection of a strategy considered less effective as early as the 1980s. The conclusions drawn in a study from The Netherlands support this tendency: although in optimal listening conditions (anechoic chamber, competitive noise at 180 degrees), an advantage on the order of 7 dB is reported in favour of the directional technique, this advantage is less marked in a reverberant environment (approximately 1.5 dB) [Leeuw et Dreschler, 1991]. According to the authors, this gain does not seem large enough to provide significant benefit to hearing-impaired people in everyday listening situations. More effective directional microphones must be developed.

To that end, American researchers have proposed a new technical approach: a capsule housing both an omnidirectional and a directional microphone, each optimized for its purpose, is incorporated into an in-the-ear hearing aid [Killion et al., 1998]. Subject to the methodological limitations in the study, the advantages of the directional microphone seem substantial, especially since the measurements were taken in real-life listening situations. The same microphone was used in another study but with less positive results, however [Novick et al., 2001].

Directionality with two microphones

The application of dual-microphone directionality received special attention throughout the last decade. In fact, most of the studies identified make use of this technological solution. Regardless of the strength of scientific evidence, these studies unanimously conclude that directional-microphone hearing aids provide a gain of 1.5 to 8.5 dB, the best performances having generally been observed in favourable listening conditions. Thus, the large gain of 13 dB reported in the Québec study [Laborté, 2000] would have been favoured by the location of the noise sources and the recruitment of subjects with normal hearing.

Directionality with a microphone array

Systems with microphone arrays attempt to push even further the principle of improving directionality by cancelling omnidirectional noise. Considering the complexity involved in developing such systems that are both effective and ergonomic, this technological approach belongs even more to the experimental field than to commercial use. All the selected studies give an advantage of the order of 1.4 to 22.7 dB for the multi-microphone directional approach. As in the case of the other solutions, applying this approach in non-optimal listening situations reduces its effectiveness. This drop in performance nevertheless seems to be less for designs making use of a greater number of microphones.

5. DISCUSSION

Regardless of the technological approach used, all the studies identified (i.e., those with an intermediate level of evidence as well as those with a low level of evidence) show that directional hearing-aids offer speech-in-noise benefit. The benefit is greatest in listening situations where the noise and the speaker are respectively placed behind and in front of the person with a hearing loss in an environment with low reverberation. In situations more representative of daily life, where noise is diffuse and the room reverberant, this gain diminishes to the point of becoming comparable to that provided by conventional omnidirectional hearing aids.

These findings agree with the conclusions reached in a meta-analysis of eighteen studies, including those that we retained [Amlani, 2001]. The study selection criteria in the analysis included the use of commercial models of hearing aids, the application of directionality using one or two microphones, and performance ratings based on SNR improvements. The meta-analysis examined 72 experiments on omnidirectional hearing aids (totalling 1057 subjects) and 74 experiments on directional-microphone hearing aids (totalling 1086 subjects). Compiled performances reveal an overall gain of 4 dB for the directional approach in a low-reverberant room where the

source and the noise are in different positions, that is, 0° vs 90° or 180°. This advantage disappears in a reverberant environment with diffuse noise.

The technological solution based on a microphone array seems *a priori* more robust in degraded sound environments. Ergonomic considerations nevertheless limit the applicability of this approach. Also, different algorithms can be used to process signals coming from several microphones and can theoretically produce different directional properties. Additional well-conducted controlled trials are therefore necessary to explore these alternative solutions and to confirm the advantages of this approach. Similarly, the benefits reported by Killion et al. [1998] regarding the new directional-microphone capsule must be confirmed by controlled trials.

According to the information available, we cannot with any certainty draw conclusions regarding the efficacy of the single-microphone solution: it must therefore be classified as "experimental," based on the classification scheme adopted in 1994 by AETMIS.[1] This conclusion relies as much on the weak clinical benefits in reverberant environments as on the low validity of the selected studies. This classification is, however, biased by the analysis window excluding studies conducted before 1990. It applies nevertheless to new applications such as microphone capsules.

The dual-microphone approach may, on the other hand, be designated "accepted," but for specific applications. In fact, its efficacy in specific listening situations has been demonstrated repeatedly in studies with a higher level of evidence. When the signal of interest arrives from the front and the competing noise from the back in a low-reverberant environment, the directional approach seems effective. This is the case, for example, for a student facing the teacher and sitting in the first row in a classroom whose acoustic properties are controlled by acoustic tiles, curtains or carpets. The SNR gain would theoretically allow for up to 60 % better speech comprehension. However, the further the drift away from optimal conditions, the less effective this formula becomes. The gain may even be nil in places such as churches or conference rooms (reverberant environments), shopping centres or industrial buildings (diffuse noise).

The multi-microphone approach seems interesting because it attempts to cancel noise coming from all directions. Because of the limited number of clinical studies with a high level of evidence demonstrating its efficacy, and the need to solve the ergonomic problems, it must remain an "experimental" approach.

Besides the indications for use specified above, hearing specialists must use prudence when recommending, selecting and fitting directional-microphone hearing aids. In actual fact, the directionality option is designed to favour the audibility of frontal signals over those coming from other directions. In situations where the signal of interest comes from other directions, for example, classmates answering questions in the classroom, colleagues talking in a meeting, or an alarm sounding at work, the use of directional hearing aids is not recommended, and may even be harmful. Some aids offer the possibility of alternating between omnidirectional and directional modes by means of a switch on the hearing-aid case or by remote control. Nevertheless, this solution seems applicable only for people with the necessary physical and cognitive abilities to use this function at the right time and in the right places [Kuk, 2000].

Furthermore, manufacturers' specifications regarding the directional properties of a specific hearing aid may often be wrong, owing to the significant effect caused by venting and microphone orientation [Ricketts, 2000a]. In addition, given that electroacoustic transducers are liable to suffer from sensitivity drift

---

1. The classification adopted in 1994 by AETMIS (then known as the *Conseil d'évaluation des technologies de la santé du Québec*) for designating the status of a technology is the following:

An "accepted" technology is one that is well established and for which there is a long history of use and considerable knowledge or, failing that, universal acceptance of its efficacy in all its applications.

An "innovative" technology is one that has gone beyond the experimental stage and whose efficacy has been established. However, because of a lack of experimentation, its application procedures and even its indications for clinical use are not yet clearly defined. To improve our knowledge of this technology, it would be important to systematically gather all the data derived from its use and to communicate this information to the medical community, whether in the form of a clinical research report, a systematic review or an appropriate registry. To promote these objectives and to prevent its premature routine clinical use, this technology must be restricted to certain authorized centres with the necessary resources and knowledge.

An "experimental" technology is one whose efficacy has not yet been established. This technology must therefore not be used in health-care institutions, except in the case of research projects, nor must it be part of the government's insured services.

Directionality with a single microphone

Very few studies published since 1990 have been found to make use of the acoustic approach for hearing-aid directionality. This finding reveals manufacturers' predilection for modern multi-microphone formulas and rejection of a strategy considered less effective as early as the 1980s. The conclusions drawn in a study from The Netherlands support this tendency: although in optimal listening conditions (anechoic chamber, competitive noise at 180 degrees), an advantage on the order of 7 dB is reported in favour of the directional technique, this advantage is less marked in a reverberant environment (approximately 1.5 dB) [Leeuw et Dreschler, 1991]. According to the authors, this gain does not seem large enough to provide significant benefit to hearing-impaired people in everyday listening situations. More effective directional microphones must be developed.

To that end, American researchers have proposed a new technical approach: a capsule housing both an omnidirectional and a directional microphone, each optimized for its purpose, is incorporated into an in-the-ear hearing aid [Killion et al., 1998]. Subject to the methodological limitations in the study, the advantages of the directional microphone seem substantial, especially since the measurements were taken in real-life listening situations. The same microphone was used in another study but with less positive results, however [Novick et al., 2001].

Directionality with two microphones

The application of dual-microphone directionality received special attention throughout the last decade. In fact, most of the studies identified make use of this technological solution. Regardless of the strength of scientific evidence, these studies unanimously conclude that directional-microphone hearing aids provide a gain of 1.5 to 8.5 dB, the best performances having generally been observed in favourable listening conditions. Thus, the large gain of 13 dB reported in the Québec study [Labonté, 2000] would have been favoured by the location of the noise sources and the recruitment of subjects with normal hearing.

Directionality with a microphone array

Systems with microphone arrays attempt to push even further the principle of improving directionality by cancelling omnidirectional noise. Considering the complexity involved in developing such systems that are both effective and ergonomic, this technological approach belongs even more to the experimental field than to commercial use. All the selected studies give an advantage of the order of 1.4 to 22.7 dB for the multi-microphone directional approach. As in the case of the other solutions, applying this approach in non-optimal listening situations reduces its effectiveness. This drop in performance nevertheless seems to be less for designs making use of a greater number of microphones.

5. DISCUSSION

Regardless of the technological approach used, all the studies identified (i.e., those with an intermediate level of evidence as well as those with a low level of evidence) show that directional hearing-aids offer speech-in-noise benefit. The benefit is greatest in listening situations where the noise and the speaker are respectively placed behind and in front of the person with a hearing loss in an environment with low reverberation. In situations more representative of daily life, where noise is diffuse and the room reverberant, this gain diminishes to the point of becoming comparable to that provided by conventional omnidirectional hearing aids.

These findings agree with the conclusions reached in a meta-analysis of eighteen studies, including those that we retained [Amlani, 2001]. The study selection criteria in the analysis included the use of commercial models of hearing aids, the application of directionality using one or two microphones, and performance ratings based on SNR improvements. The meta-analysis examined 72 experiments on omnidirectional hearing aids (totalling 1057 subjects) and 74 experiments on directional-microphone hearing aids (totalling 1086 subjects). Compiled performances reveal an overall gain of 4 dB for the directional approach in a low-reverberant room where the

source and the noise are in different positions, that is, 0° vs 90° or 180°. This advantage disappears in a reverberant environment with diffuse noise.

The technological solution based on a microphone array seems *a priori* more robust in degraded sound environments. Ergonomic considerations nevertheless limit the applicability of this approach. Also, different algorithms can be used to process signals coming from several microphones and can theoretically produce different directional properties. Additional well-conducted controlled trials are therefore necessary to explore these alternative solutions and to confirm the advantages of this approach. Similarly, the benefits reported by Killion et al. [1998] regarding the new directional-microphone capsule must be confirmed by controlled trials.

According to the information available, we cannot with any certainty draw conclusions regarding the efficacy of the single-microphone solution: it must therefore be classified as "experimental," based on the classification scheme adopted in 1994 by AETMIS.[1] This conclusion relies as much on the weak clinical benefits in reverberant environments as on the low validity of the selected studies. This classification is, however, biased by the analysis window excluding studies conducted before 1990. It applies nevertheless to new applications such as microphone capsules.

The dual-microphone approach may, on the other hand, be designated "accepted," but for specific applications. In fact, its efficacy in specific listening situations has been demonstrated repeatedly in studies with a higher level of evidence. When the signal of interest arrives from the front and the competing noise from the back in a low-reverberant environment, the directional approach seems effective. This is the case, for example, for a student facing the teacher and sitting in the first row in a classroom whose acoustic properties are controlled by acoustic tiles, curtains or carpets. The SNR gain would theoretically allow for up to 60% better speech comprehension. However, the further the drift away from optimal conditions, the less effective this formula becomes. The gain may even be nil in places such as churches or conference rooms (reverberant environments), shopping centres or industrial buildings (diffuse noise).

The multi-microphone approach seems interesting because it attempts to cancel noise coming from all directions. Because of the limited number of clinical studies with a high level of evidence demonstrating its efficacy, and the need to solve the ergonomic problems, it must remain an "experimental" approach.

Besides the indications for use specified above, hearing specialists must use prudence when recommending, selecting and fitting directional-microphone hearing aids. In actual fact, the directionality option is designed to favour the audibility of frontal signals over those coming from other directions. In situations where the signal of interest comes from other directions, for example, classmates answering questions in the classroom, colleagues talking in a meeting, or an alarm sounding at work, the use of directional hearing aids is not recommended, and may even be harmful. Some aids offer the possibility of alternating between omnidirectional and directional modes by means of a switch on the hearing-aid case or by remote control. Nevertheless, this solution seems applicable only for people with the necessary physical and cognitive abilities to use this function at the right time and in the right places [Kuk, 2000].

Furthermore, manufacturers' specifications regarding the directional properties of a specific hearing aid may often be wrong, owing to the significant effect caused by venting and microphone orientation [Ricketts, 2000a]. In addition, given that electroacoustic transducers are liable to suffer from sensitivity drift

---

1. The classification adopted in 1994 by AETMIS (then known as the *Conseil d'évaluation des technologies de la santé du Québec*) for designating the status of a technology is the following:

An "accepted" technology is one that is well established and for which there is a long history of use and considerable knowledge or, failing that, universal acceptance of its efficacy in all its applications.

An "innovative" technology is one that has gone beyond the experimental stage and whose efficacy has been established. However, because of a lack of experimentation, its application procedures and even its indications for clinical use are not yet clearly defined. To improve our knowledge of this technology, it would be important to systematically gather all the data derived from its use and to communicate this information to the medical community, whether in the form of a clinical research report, a systematic review or an appropriate registry. To promote these objectives and to prevent its premature routine clinical use, this technology must be restricted to certain authorized centres with the necessary resources and knowledge.

An "experimental" technology is one whose efficacy has not yet been established. This technology must therefore not be used in health care institutions, except in the case of research projects, nor must it be part of the government's insured services.

because of wear, particularly in excessive temperatures and humidity [Kuk, 2000], directional properties are not necessarily stable over time.

6. CONCLUSION

All the studies reporting on the clinical efficacy of directional hearing aids have only an intermediate level of evidence. The few studies available allow for single-microphone and microphone-array approaches to be classified as "experimental" technologies. Additional controlled trials will be necessary to confirm their efficacy.

Dual-microphone approaches may be considered "accepted" technologies but only in optimal listening conditions when the speaker and the noise are diametrically opposite each other in a room with low reverberation. Applying this technology in other conditions reduces (sometimes significantly) its efficacy. Although its use in less optimal conditions (less localized noise, controlled reverberation) may sometimes be justified despite the lower benefit, use of this technology in noisy or reverberant environments seems ineffective. Finally, eligibility requirements for the directionality option must take into account candidates' physical and cognitive abilities to use the directional properties effectively.

APPENDIX A – COVERAGE OF THE *PROGRAMME D'AIDES AUDITIVES* AND ELIGIBILITY REQUIREMENTS

Table A1a.
Coverage by age of insured participant

Age group	Types of devices insured	Insured services		
		Purchase and replacement	Repairs during warranty period	Repairs after warranty period
0–5	hearing aid	yes	yes	yes
	ALD* (FM** system only)	yes	yes	yes
6–11	hearing aid	yes	yes	yes
	ALD (except FM system)	yes	yes	yes
12–18	hearing aid	yes	yes	yes
	ALD (except FM system in the case of an elementary or secondary school student)	yes	yes	yes
19–74 non-student	hearing aid	yes	yes	yes
	ALD (except FM system)	yes	yes	yes
19–74 student	hearing aid	yes	yes	yes
	ALD	yes	yes	yes
75 and over	hearing aid	yes	yes	yes
	ALD	yes	yes	yes

* ALD = assistive listening device.
** FM system = frequency-modulation system.

Sources:
a) Régie de l'assurance maladie du Québec. Programs and Insured Services – Hearing Devices.
Available at: *http://www.ramq.gouv.qc.ca/crc/eng/public/progservass/auditive.shtml* (Page consulted on February 26, 2003).
b) Regulation respecting hearing devices insured under the Health Insurance Act. R.S.Q. c-A29, r.0.02.

Table A1b. Eligibility requirements by age of insured participant

Age group	Types of devices insured	Documents required – authorized providers				
		Medical certificate	Audiogram	Proof of need for hearing aid	Recommend-ation for ALS	Proof of school attendance
0–5	hearing aid	ENT ***	–	audiologist	–	–
	ALD (FM system only)	ENT	–	–	audiologist	–
6–11	hearing aid	ENT	–	audiologist	–	–
	ALD (except FM system)	ENT	audiologist	–	audiologist	–
12–18	hearing aid	ENT	ENT or audiologist	ENT or audiologist	–	–
	ALD (except FM system in the case of an elementary or secondary school student)	ENT	audiologist	–	audiologist	–
19–74 non-student	hearing aid	ENT	ENT or audiologist	ENT or audiologist	–	–
	ALD (except FM system)	ENT	audiologist	–	audiologist	–
19–74 student	hearing aid	ENT	ENT or audiologist	ENT or audiologist	–	school, college, university
	ALD	ENT	audiologist	–	audiologist	
75 and over	hearing aid	ENT	audiologist	audiologist	–	–
	ALD	ENT	audiologist	–	audiologist	–

* ALD = assistive listening device.
** FM system = frequency-modulation system.
*** ENT = ear, nose and throat specialist.

Sources:
a) Régie de l'assurance maladie du Québec. Programs and Insured Services – Hearing Devices. Available at: *http://www.ramq.gouv.qc.ca/crc/eng/public/progservass/auditive.shtml* (Page consulted on February 26, 2003).
b) Regulation respecting hearing devices insured under the Health Insurance Act. R.S.Q. c-A29, r.0.02.

APPENDIX B – CRITICAL APPRAISAL CHECKLIST

Critical appraisal checklist for a therapy article [ANAES, 2000]

Title and author of article: _____

Journal/Year/Vol./Pages _____

Topic of article: _____

	YES	NO	?
1. The objectives are clearly defined	☐	☐	☐
2. Study methodology			
• This is a controlled trial	☐	☐	☐
- *the trial is prospective*	☐	☐	☐
- *the trial is randomized*	☐	☐	☐
• The number of patients was calculated a priori	☐	☐	☐
• The study population corresponds to the population usually treated	☐	☐	☐
• All clinically relevant variables are taken into account	☐	☐	☐
• The statistical analysis is appropriate	☐	☐	☐
• It is an intention-to-treat analysis	☐	☐	☐
3. The results are consistent with the study objective and take into account potential side effects	☐	☐	☐
4. Clinical applicability			
• The clinical relevance is given	☐	☐	☐
• Treatment procedures are applicable on a routine basis	☐	☐	☐

Comments:

_____

_____

_____

_____

_____

APPENDIX C – CLASSIFICATION OF LEVELS OF EVIDENCE

Levels of scientific evidence provided by the publication [ANAES, 2000]

Level 1 (high level of evidence or established scientific evidence)

- Randomized controlled trials with high statistical power
- Meta-analysis of randomized controlled trials
- Decision analysis based on well-conducted studies

Level 2 (intermediate level of evidence or scientific presumption)

- Randomized controlled trials with low statistical power
- Well-conducted non-randomized controlled trials
- Cohort studies

Level 3 (low level of scientific evidence)

- Case-control studies

Level 4 (low level of scientific evidence)

- Controlled trials with significant bias
- Retrospective studies
- Case series
- Descriptive epidemiological studies (cross-sectional, longitudinal)

REFERENCES

Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (ANAES). Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations. Paris: ANAES; 2000.

Agnew J, Block M. HINT thresholds for a dual-microphone BTE. Hear Rev 1997;4:26-30.

Amlani AM. Efficacy of directional microphone hearing aids: a meta-analytic perspective. J Am Acad Audiol 2001;12:202-14.

Bilsen F, Soede W, Berkhout AJ. Development and assessment of two fixed-array microphones for use with hearing aids. J Rehabil Res Dev 1993;30:73-81.

Gennum Corp. Directional hearing aid tutorial (CD-ROM). Burlington: Gennum Corp.; 2000.

Gravel JS, Fausel N, Liskow C, Chobot J. Children's speech recognition in noise using omni-directional and dual-microphone hearing aid technology. Ear Hear 1999;20:1-11.

Hoffman MW, Trine TD, Buckley KM, Van Tasell DJ. Robust adaptative microphone array processing for hearing aids: realistic speech enhancement. J Acoust Soc Am 1994;96:759-70.

Killion M. SNR loss: I can hear what people say, but I can't understand them. Hear Rev 1997;4.

Killion M, Schulein R, Christensen L, Fabry D, Revit L, Niquette P, Chung K. Real-world performance of an ITE directional microphone. Hear J 1998;51:24-38.

Kompis M, Dillier N. Noise reduction for hearing aids: combining directional microphones with an adaptive beamformer. J Acoust Soc Am 1994;96:1910-3.

Kuhn GF. Some effects of microphone location, signal bandwidth, and incident wave field on the hearing aid input signal. In: Studebaker GA, Hochberg I. Acoustical factors affecting hearing aid performance. Baltimore: University Park Press; 1980:55-80.

Kühnel V, Margolf-Hackl S, Kiessling J. Multi-microphone technology for severe-to-profound hearing loss. Scand Audiol Suppl 2001;30 Supp 52:65-8.

Kuk F, Baekgaar L, Ludvigsen C. Design considerations in directional microphones. Available at: www.hearingreview.com/Articles.ASP?articleid=H0009F06 (Page consulted in January 2001).

Kuk FK, Kollofski C, Brown S, Melum A, Rosenthal A. Use of a digital hearing aid with directional microphones in school-aged children. J Am Acad Audiol 1999;10:535-48.

Labonté MP. Les effets de directivité des microphones à effet d'annulation des aides de correction auditive sur la reconnaissance de la parole en classe [project report]. Montréal (Québec): Université de Montréal; 2000.

Leeuw AR, Dreschler WA. Advantages of directional hearing aid microphones related to room acoustics. Audiol 1991;30:330-4.

Lurquin P, Rafhay S. Intelligibility in noise using multimicrophone hearing aids. Acta Otolaryngol Belg 1996;50:103-9.

May AM, Larsen CB, Warland A. Multi-microphone instruments, DSP and hearing-in-noise. Tech Topic 2000:1-4

Mueller HG, Grimes AM, Jerome JJ. Performance-intensity functions as a predictor for binaural amplification. Ear Hear 1981;2:211-4.

Novick ML, Bentler RA, Dittberner AD, Flamme GA. Effects of release time and directionality on unilateral and bilateral hearing aid fittings in complex sound fields. J Am Acad Audiol 2001;12:534-44.

Pumford JM, Seewald RC, Scollie SD, Jenstad LM. Speech recognition with in-the-ear and behind-the-ear dual-microphone hearing instruments. J Am Acad Audiol 2000;11:23-35.

Preves DA, Sammeth CA, Wynne MK. Field trial evaluations of a switched directional/omnidirectional in-the-ear hearing instrument. J Am Acad Audiol 1999;10:273-84.

Ricketts T. Directivity quantification in hearing aids: fitting and measurement effects. Ear Hear 2000a;21:45-58.

Ricketts T. Impact of noise source configuration on directional hearing aid benefit and performance. Ear Hear 2000b;21:194-205.

Ricketts T. The impact of head angle on monaural and binaural performance with directional and omnidirectional hearing aids. Ear Hear 2000c;21:318-28.

Ricketts T, Dhar S. Comparison of performance across three directional hearing aids. J Am Acad Audiol 1999;10:180-9.

Ricketts T, Mueller HG. Making sense of directional microphone hearing aids. Am J Audiol 1999;8:117-27.

Ricketts T, Lindley G, Henry P. Impact of compression and hearing aid style on directional hearing aid benefit and performance. Ear Hear 2001;22:348-61.

Saunders GH, Kates JM. Speech intelligibility enhancement using hearing-aid array processing. J Acoust Soc Am 1997;102:1827-37.

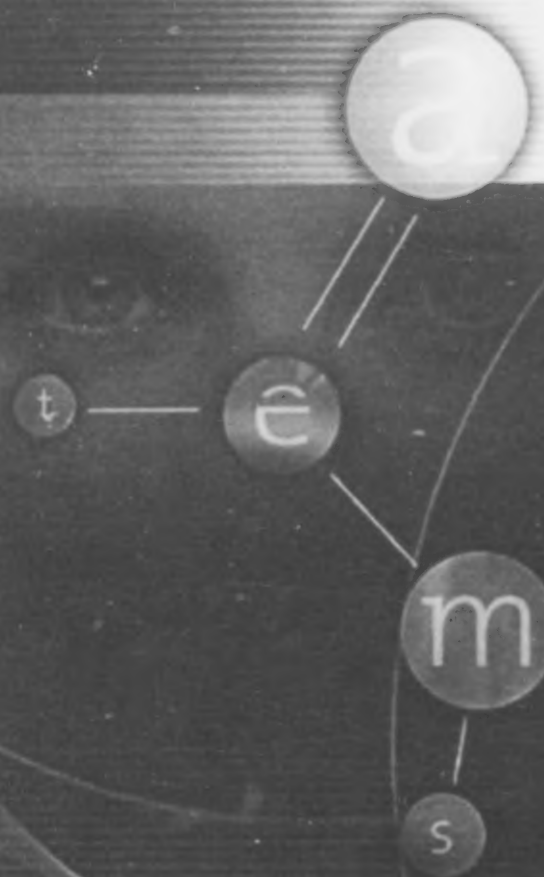
Soli SD, Nilsson M. Assessment of communication handicap with the HINT. Hear Instrum 1994;45(2):12,15-6.

Valente M, Fabry DA, Potts, LG. Recognition of speech in noise with hearing aids using dual microphones. J Am Acad Audiol 1995;6:440-9.

Walden BE, Surr RK, Cord MT, Edwards B, Olson L. Comparison of benefits provided by different hearing aid technologies. J Am Acad Audiol 2000;11:540-60.

Wouters J, Litière L, Van Wieringen A. Speech intelligibility in noisy environments with one- and two-microphone hearing aids. Audiol 1999;38:91-8.

Efficacité des prothèses auditives à microphones directionnels



AGENCE D'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES
ET DES MODES D'INTERVENTION EN SANTÉ

Québec

105-06667

Efficacité des prothèses auditives à microphones directionnels

Note technique préparée pour l'AETMIS
par François Bergeron

Mai 2003

Québec

Le contenu de cette publication a été rédigé et édité par
l'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS).
Ce document est également offert en format PDF sur le site Web de l'Agence.

Pour se renseigner sur cette publication ou
toute autre activité de l'AETMIS, s'adresser à :

Agence d'évaluation des technologies et
des modes d'intervention en santé
2021, avenue Union, bureau 1040
Montréal (Québec) H3A 2S9

Téléphone : (514) 873-2563
Télécopieur : (514) 873-1369
Courriel : aetmis@aetmis.gouv.qc.ca
http://www.aetmis.gouv.qc.ca

Comment citer ce document :

Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS).
Efficacité des prothèses auditives à microphones directionnels. Note technique préparée
par François Bergeron. (AETMIS 03-03). Montréal : AETMIS, 2003, xi-25 p.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec, 2003
Bibliothèque nationale du Canada, 2003
ISBN 2-550-41049-1

© Gouvernement du Québec, 2003

La reproduction totale ou partielle de ce document est autorisée, à condition que la source soit mentionnée.

LA MISSION

L'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS) a pour mission de contribuer à améliorer le système de santé québécois et de participer à la mise en œuvre de la politique scientifique du gouvernement du Québec. Pour ce faire, l'Agence conseille et appuie le ministre de la Santé et des Services sociaux ainsi que les décideurs du système de santé en matière d'évaluation des services et des technologies de la santé. L'Agence émet des avis basés sur des rapports scientifiques évaluant l'introduction, la diffusion et l'utilisation des technologies de la santé, incluant les aides techniques pour personnes handicapées, ainsi que les modalités de prestation et d'organisation des services. Les évaluations tiennent compte de multiples facteurs, dont l'efficacité, la sécurité et l'efficience ainsi que les enjeux éthiques, sociaux, organisationnels et économiques.

La Direction

Dr Renaldo N. Battista,
président du Conseil et directeur général, médecin épidémiologue, Université McGill, Montréal

Dr Véronique Déry,
médecin spécialiste en santé publique, directrice scientifique

M. Jean-Marie R. Lance,
économiste, conseiller scientifique principal

Le Conseil

Dr Jeffrey Barkun,
professeur agrégé, Département de chirurgie, Faculté de médecine, Université McGill, et chirurgien, Hôpital Royal Victoria, CUSM, Montréal

Dr Marie-Dominique Beaulieu,
médecin en médecine familiale, titulaire de la Chaire Docteur Sadok Besrour en médecine familiale, CHUM, et chercheur, Unité de recherche évaluative, Pavillon Notre-Dame, CHUM, Montréal

Dr Suzanne Claveau,
médecin en microbiologie-infectiologie, L'Hôtel-Dieu de Québec, CHUQ, Québec

M. Roger Jacob,
ingénieur biomédical, chef du service de la construction, Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal-Centre, Montréal

Mme Denise Leclerc,
pharmacienne, membre du Conseil d'administration de l'institut universitaire de gériatrie de Montréal, Montréal

Mme Louise Montreuil,
directrice générale adjointe aux ententes de gestion, Direction générale de la coordination ministérielle des relations avec le réseau, ministère de la Santé et des Services sociaux, Québec

Dr Jean-Marie Moutquin,
médecin spécialiste en gynéco-obstétrique, directeur général, Centre de recherche, CHUS, Sherbrooke

Dr Réginald Nadeau,
médecin spécialiste en cardiologie, Hôpital du Sacré-Cœur, Montréal

M. Guy Rocher,
sociologue, professeur titulaire, Département de sociologie, et chercheur, Centre de recherche en droit public, Université de Montréal, Montréal

M. Lee Soderstrom,
économiste, professeur, Département des sciences économiques, Université McGill, Montréal

AVANT-PROPOS

EFFICACITÉ DES PROTHÈSES AUDITIVES À MICROPHONES DIRECTIONNELS

Dans le cadre de la révision du programme d'aides auditives, le ministère de la Santé et des Services sociaux a formé un groupe consultatif chargé de recommander les modifications appropriées aux autorités ministérielles. Les travaux du sous-comité sur les nouvelles technologies l'ont amené à demander à l'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS) de statuer sur l'efficacité clinique des appareils de correction auditive à microphones directionnels.

Les difficultés de compréhension dans le bruit sont une cause fréquente d'insatisfaction vis-à-vis des appareils de correction auditive. Plusieurs solutions technologiques ont été explorées pour offrir à la personne malentendante de meilleures conditions d'écoute au sein d'un environnement bruyant. Les travaux sur la directivité des microphones s'inscrivent dans cette voie.

Selon l'évaluation de l'AETMIS, les quelques études présentant un niveau de preuve intermédiaire permettent de classer les solutions à microphone unique de même que les formules basées sur des séries de microphones dans la catégorie des technologies expérimentales. Ces solutions apparaissent prometteuses, mais il faudra procéder à des études comparatives supplémentaires pour confirmer leur efficacité.

Les approches mettant à contribution une paire de microphones peuvent pour leur part être considérées comme des technologies acceptées, mais seulement dans des conditions d'écoute optimales, alors que le locuteur et le bruit sont diamétralement opposés dans un espace peu réverbérant. L'application de cette technologie dans d'autres conditions altère, parfois grandement, son efficacité. Les modalités d'attribution de l'option de directivité doivent enfin prendre en compte les capacités physiques et cognitives du candidat à utiliser les propriétés directionnelles de façon judicieuse.

En remettant ce rapport, l'AETMIS souhaite apporter aux décideurs du réseau québécois de la santé les éléments d'information nécessaires pour offrir les services appropriés aux personnes présentant une déficience auditive.

Renaldo N. Battista
Président-directeur général

REMERCIEMENTS

Cette note technique a été préparée à la demande de l'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS) par M. François Bergeron, Ph. D., audiologiste et professeur adjoint au département de réadaptation de la Faculté de médecine de l'Université Laval, et chercheur associé au Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale (CIRRIS). Nous lui exprimons toute notre reconnaissance pour le travail accompli. De même, l'Agence souhaite souligner la contribution de Mme Suzie Toutant pour son travail de révision linguistique.

L'auteur a bénéficié également de l'appui constant d'un groupe de travail qui a lu et commenté différentes versions préliminaires de ce rapport. Nous remercions chacun des membres de ce groupe, formé comme suit :

M. François Bergeron
Audiologiste, professeur adjoint, Département de réadaptation, Université Laval, Québec

Mme Linda Cloutier
Audioprothésiste, professeur, Département d'audioprothèse, Collège de Rosemont, Montréal

M. Bernard Côté
Conseiller en gestion de programme, Régie de l'assurance maladie du Québec, Québec

Mme Martine Gendron
Audiologiste, Hôpital Sainte-Justine, Montréal

M. Christian Giguère
Ingénieur, professeur agrégé, École des sciences de la réadaptation, Université d'Ottawa, Ottawa

M. Jean-Marie Lance
Conseiller scientifique principal, AETMIS, Montréal

M. Michel Picard
Audiologiste, professeur agrégé, École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal, Montréal

L'Agence tient aussi à remercier les lecteurs externes pour leurs nombreux commentaires, qui ont permis d'améliorer la qualité et le contenu de ce rapport.

M. Gilles Cagnone
Audioprothésiste, professeur, Département d'audioprothèse, Collège de Rosemont, Montréal (Québec)

M. François Le Her
Audioprothésiste, Laboratoire F. Le Her, Rouen (France)

M. Yves Tougas
Audioprothésiste, professeur, Département d'audioprothèse, Collège de Rosemont, Montréal (Québec)

M. Richard Tyler
Professeur, Department of Otolaryngology – Head and Neck Surgery, Department of Speech Pathology and Audiology, University of Iowa, Iowa City (États-Unis)

RÉSUMÉ

Origine de la demande d'évaluation

Depuis 1979, le ministère de la Santé et des Services sociaux offre aux citoyens malentendants du Québec un programme d'accès gratuit aux aides techniques nécessaires pour suppléer à leur surdité. Ce programme, administré par la Régie de l'assurance maladie du Québec, a depuis subi plusieurs transformations, tant en ce qui a trait à sa couverture qu'à ses modalités d'accès. À l'origine restreint aux appareils de correction auditive pour les personnes de 35 ans et moins, le programme actuel inclut une gamme diversifiée d'aides techniques de suppléance pour une clientèle de tout âge.

Afin de tenir compte des changements technologiques et de mieux répondre aux demandes des citoyens, le ministère de la Santé et des Services sociaux a formé un groupe consultatif chargé de revoir le programme et de recommander les modifications appropriées aux autorités ministérielles. Les travaux du sous-comité sur les nouvelles technologies l'ont amené à demander à l'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS) de statuer sur l'efficacité clinique des appareils de correction auditive à multimicrophones.

Description des appareils de correction auditive

La surdité se manifeste d'abord par l'incapacité de percevoir les signaux acoustiques de l'environnement. Or, même lorsque l'audibilité est restaurée par un appareil de correction auditive, la personne malentendante a besoin de meilleures conditions d'écoute qu'un entendant pour mener à bien des tâches de compréhension. Les difficultés de compréhension dans le bruit sont d'ailleurs une cause fréquente d'insatisfaction envers les appareils de correction auditive, de rejet et d'abandon. Plusieurs solutions technologiques ont été explorées pour offrir à la personne malentendante de meilleures conditions d'écoute au sein d'un environnement bruyant. Les travaux sur la directivité des microphones s'inscrivent dans cette voie.

L'application des principes de directivité aux appareils de correction auditive offre la possibilité d'améliorer le rapport signal/bruit, et ce, même lorsque la parole et le bruit sont similaires. Cette solution est particulièrement pertinente lorsque la parole et le bruit proviennent de sources séparées dans l'espace. En théorie, un microphone omnidirectionnel capte de façon égale les sons provenant de toutes directions; par opposition, un microphone directionnel capte de façon privilégiée les sons émis d'une direction précise. Appliquée à la surdité, la directivité privilégie les sons provenant de l'avant, soit là où devrait se trouver l'interlocuteur.

Les premiers microphones directionnels ont été introduits dans les appareils de correction auditive au début des années 1970. En 1980, ils représentaient près de 20 % des ventes des fabricants. La popularité des aides intra-auriculaires et le scepticisme des distributeurs ont par la suite entraîné une diminution graduelle de la demande pour cette solution. Les nouvelles perspectives technologiques, notamment la miniaturisation, ainsi que les avancées dans le traitement électronique et numérique des signaux ont récemment renouvelé l'intérêt des chercheurs pour la directivité des appareils de correction auditive.

Analyse des données scientifiques

La stratégie de recherche documentaire a permis de répertorier 17 articles traitant des appareils de correction auditive directionnels à partir de l'interrogation des banques de données pour la dernière décennie. Dix-neuf documents complémentaires ont été recueillis auprès d'un groupe consultatif d'experts et par l'extraction des références citées dans les articles. Dans cette documentation, 24 études rendent compte d'essais cliniques. Aucune ne s'appuie sur un plan d'étude du plus haut niveau de preuve, soit l'essai croisé randomisé de forte puissance, mais toutes présentent des données comparant des appareils à propriétés différentes de directivité (par exemple, omnidirectionnels *versus* directionnels) chez les mêmes sujets, selon un plan croisé, avec ou sans randomisation. Les effectifs des échantillons sont généralement restreints.

Indépendamment de la solution technologique mise à contribution, toutes les études répertoriées, soit autant celles à niveau de preuve intermédiaire que faible, montrent que les appareils de correction auditive possédant des propriétés directionnelles offrent un avantage pour la compréhension de la parole dans le bruit. Ce bénéfice est optimal dans les conditions d'écoute où le bruit et le locuteur sont respectivement localisés à l'arrière et à l'avant de la personne malentendante située dans un environnement peu réverbérant. En situation d'écoute plus représentative de la réalité quotidienne, où le bruit est diffus et le milieu réverbérant, cet avantage diminue jusqu'à devenir comparable à celui que procurent les appareils de correction auditive traditionnels à microphones omnidirectionnels.

Conclusion

En ce qui concerne les propriétés directionnelles, les quelques études disponibles présentant un niveau de preuve intermédiaire permettent de classer les solutions à microphone unique de même que les formules basées sur des séries de microphones dans la catégorie des technologies expérimentales. Ces solutions apparaissent prometteuses, mais il faudra procéder à des études comparatives supplémentaires pour confirmer leur efficacité.

Les approches mettant à contribution une paire de microphones peuvent pour leur part être considérées comme des technologies acceptées, mais seulement dans des conditions d'écoute optimales alors que le locuteur et le bruit sont diamétralement opposés dans un espace peu réverbérant. L'application de cette technologie dans d'autres conditions altère, parfois grandement, son efficacité. Les modalités d'attribution de l'option de directivité doivent enfin prendre en compte les capacités physiques et cognitives du candidat à utiliser les propriétés directionnelles de façon judicieuse.

GLOSSAIRE

Aide auditive :
Tout appareil visant à corriger une déficience du système auditif, à compenser une incapacité auditive, à prévenir ou à réduire une situation de handicap.

Aide de suppléance à l'audition (ASA) :
Tout appareil faisant partie de l'environnement de l'utilisateur et visant à compenser une incapacité auditive, à prévenir ou à réduire une situation de handicap.

Anéchogène :
Sans aucune réverbération.

Appareil de correction auditive (prothèse auditive) :
Tout appareil porté par l'utilisateur visant à corriger une déficience du système auditif, à prévenir ou à réduire une situation de handicap.

Binaural :
Mettant à contribution les deux oreilles. Un appareillage binaural signifie qu'un appareil de correction auditive est ajusté sur chaque oreille, par opposition à monaural, où une seule oreille est appareillée.

Linéaire :
Se dit d'un appareil de correction auditive procurant un niveau d'amplification fixe quelle que soit l'intensité du signal acoustique incident. Par définition, ces appareils ne possèdent pas de circuits de compression permettant un traitement plus ou moins perfectionné de la gamme dynamique de l'environnement sonore.

Rapport signal/bruit (RSB) :
Rapport entre l'intensité sonore d'un stimulus et celle du bruit compétitif, exprimé en décibels (dB).

Seuil de réception de la parole (SRP) :
Intensité sonore nécessaire pour assurer la reconnaissance de 50 % des mots bisyllabiques, exprimée en décibels (dB).

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS v

REMERCIEMENTS vi

RÉSUMÉ vii

GLOSSAIRE ix

1 INTRODUCTION 1

1.1 Origine de la demande

1.2 Une solution technologique pour améliorer l'écoute : la directivité des microphones

2 MÉTHODES 3

3 DESCRIPTION DES MICROPHONES DIRECTIONNELS 4

3.1 Principes

3.2 Propriétés

3.3 Utilisation

4 RÉSULTATS 9

5 DISCUSSION 16

6 CONCLUSION 18

ANNEXES 19

ANNEXE A – Couverture du programme d'aides auditives et modalités d'accès 19

ANNEXE B – Grille de lecture 21

ANNEXE C – Classification du niveau de preuve 22

RÉFÉRENCES 23

1

INTRODUCTION

1.1 Origine de la demande

Depuis 1979, le ministère de la Santé et des Services sociaux offre aux citoyens malentendants du Québec un programme d'accès gratuit aux aides techniques nécessaires pour suppléer à leur surdité. Ce programme, administré par la Régie de l'assurance maladie du Québec, a depuis subi plusieurs transformations, tant en ce qui a trait à sa couverture qu'à ses modalités d'accès. À l'origine restreint aux appareils de correction auditive pour les personnes de 35 ans et moins, le programme actuel inclut une gamme diversifiée d'aides techniques de suppléance pour une clientèle de tout âge. Les tableaux A1a et A1b en annexe résument la couverture et les règles d'accès issues de la plus récente révision du programme (1997).

Afin de tenir compte des changements technologiques et de mieux répondre aux demandes des citoyens, le ministère de la Santé et des Services sociaux a formé un groupe consultatif chargé de revoir le programme et de recommander les modifications appropriées aux autorités ministérielles. Les travaux du sous-comité sur les nouvelles technologies l'ont amené à déposer deux demandes d'évaluation à l'AETMIS afin de lui permettre de statuer, d'une part sur l'efficacité clinique des appareils de correction auditive à multimicrophones et, d'autre part, sur celle des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique. Le présent rapport technique traite de la première demande, soit l'analyse de l'efficacité des appareils de correction auditive à multimicrophones.

1.2 Une solution technologique pour améliorer l'écoute : la directivité des microphones

La surdité se manifeste d'abord par l'incapacité de percevoir les signaux acoustiques de l'environnement. Selon le degré d'atteinte et sa configuration, les difficultés de perception seront plus ou moins prononcées. Pour la majorité, les traitements médicaux ou chirurgicaux ne sont pas indiqués parce que les lésions du système auditif sont d'origine sensorielle ou neurale. Pour ces personnes, l'approche thérapeutique initialement privilégiée consiste à ajuster un ou deux appareils de correction auditive. On tente ainsi de compenser la perte d'audibilité de l'environnement sonore, et plus particulièrement de la parole, par l'amplification sélective des sons que le déficit auditif a rendus inaccessibles.

La restauration de l'audibilité ne compense toutefois qu'un volet des incapacités causées par la surdité. De fait, les lésions aux structures sensorielles et neurales sont à l'origine d'autres aberrations psychoacoustiques dont, notamment, des distorsions sur le plan de la perception fréquentielle, dynamique et temporelle. Les incapacités découlant de ces distorsions se manifestent plus particulièrement en situation d'écoute dégradée, comme dans les conversations en groupe, en classe ou dans un milieu de travail bruyant. Les difficultés de compréhension dans le bruit sont une cause fréquente d'insatisfaction envers les appareils de correction auditive, de rejet et d'abandon [May *et al.*, 2000]. Ainsi, même lorsque l'audibilité est restaurée, les personnes malentendantes ont besoin de meilleures conditions d'écoute pour mener à bien des tâches de compréhension [May *et al.*, 2000]. Le tableau 1 met en évidence

Tableau 1

Relation entre le degré de surdité et la perte du rapport signal/bruit (testée à intensité élevée)

Degré de surdité (moyenne des sons purs à 0,5, 1 et 2 kHz)	Perte moyenne du rapport signal/bruit
30 dB HL	4 dB
40 dB HL	5 dB
50 dB HL	6 dB
60 dB HL	7 dB
70 dB HL	9 dB
80 dB HL	12 dB*
90 dB HL	18 dB*

Abréviations : dB (décibel), dB HL (*hearing level*)

* Valeur estimée

Source : Killion, 1997.

la nécessité grandissante de favoriser les sons de la parole au détriment du bruit (rapport signal/bruit) en fonction de la progression de l'atteinte auditive.

Selon les chercheurs Soli et Nilsson, chaque amélioration de 1 dB du rapport signal/bruit se traduirait par un gain de performance de l'ordre de 8,5 % pour la compréhension de la parole [Soli et Nilsson, 1994, cités dans Valente *et al.*, 1995]. Ces constats ont suscité l'exploration de diverses solutions technologiques pour offrir à la personne malentendante de meilleures conditions d'écoute au sein d'un environnement bruyant. Les travaux sur la directivité des microphones s'inscrivent dans cette voie.

2

MÉTHODES

Les méthodes d'évaluation utilisées ici s'appuient sur l'analyse critique de la documentation scientifique et l'apport des membres d'un groupe de travail constitué d'experts qui se sont penchés sur ce thème. Ce groupe d'experts était formé de sept personnes issues des disciplines de l'audiologie, de l'audioprothèse, de l'économie et de l'ingénierie. La liste des membres, leur discipline respective et leur provenance géographique apparaissent dans la section « Remerciements » du rapport.

La recherche documentaire a été réalisée par interrogation des banques de données MEDLINE et Cochrane. Cette recherche portait sur la période de janvier 1990 à mai 2002. Elle a été limitée aux publications de langue française ou anglaise. La stratégie spécifique utilisée et les résultats apparaissent au tableau 2. Ces interrogations ont été complétées par des documents fournis par les experts consultés et l'extraction de références des bibliographies citées dans les articles.

Tableau 2
Stratégie de recherche documentaire

Thème	Mots clés			Résultats	
				M	C
Appareils de correction auditive directionnels	*hearing aid*	ET	*multimicrophone, multiple microphone, dual microphone, microphone array, directional*	16	1

M = MEDLINE; C = Cochrane

Les articles repérés par la recherche documentaire, de même que les documents complémentaires transmis par le groupe d'experts, ont fait l'objet d'une analyse critique conforme à la grille de lecture présentée à l'annexe B. Cette grille a été mise au point par l'Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé de Paris (ANAES, 2000) afin de normaliser le processus de classification de la littérature en fonction de la qualité méthodologique et du niveau de preuve scientifique. Le niveau de preuve scientifique est initialement établi d'après la classification proposée par l'ANAES (annexe C). L'accumulation de biais méthodologiques au sein d'une étude entraîne une révision à la baisse de la classification. Lorsque la recherche documentaire et l'analyse critique des articles sélectionnés ont été terminées, une version préliminaire de ce document a été soumise au groupe d'experts.

Le devis d'évaluation des appareils de correction auditive est fréquemment basé sur un plan d'étude par essai croisé. Ce type d'essai comparatif est approprié dans les cas de problèmes chroniques plus ou moins stables et pour l'étude d'effets à court terme. Il s'agit d'un plan expérimental dans lequel tous les sujets de l'essai passent par les mêmes périodes de traitement ou d'appareillage. Le sujet est alors « son propre témoin », puisqu'il est exposé successivement aux différents appareillages. L'essai croisé est considéré comme randomisé lorsque l'ordre des périodes d'appareillage est tiré au sort pour chaque sujet. Cette procédure implique que la moitié des sujets reçoivent l'appareil A, suivi de l'appareil B, et l'autre moitié l'appareil B suivi de l'appareil A. La randomisation s'avère importante pour contrôler l'effet différé (continuation de l'effet produit par le port du premier appareil au moment du port du second) et l'effet d'ordre (la grandeur de l'effet du port de l'appareil A sera modifiée s'il précède ou suit le port de l'appareil B).

3

DESCRIPTION DES MICROPHONES DIRECTIONNELS

3.1 Principes

L'approche généralement privilégiée pour améliorer la compréhension de la parole dans le bruit en optimisant le rapport signal/bruit se fonde sur l'atténuation du bruit localisé dans un spectre fréquentiel autre que celui de la parole [Ricketts et Dhar, 1999]. Cette solution présente un problème évident lorsque le bruit compétitif ressemble à la parole ou en est. L'application des principes de directivité offre la possibilité d'améliorer le rapport signal/bruit même lorsque la parole et le bruit sont similaires. Cette autre solution est particulièrement pertinente lorsque la parole et le bruit proviennent de sources séparées dans l'espace.

En théorie, un microphone omnidirectionnel capte de façon égale les sons provenant de toutes directions; par opposition, un microphone directionnel capte de façon privilégiée les sons émis d'une direction précise. Appliquée à la surdité, la directivité privilégie les sons provenant de l'avant, soit là où devrait se trouver l'interlocuteur. Cette configuration est en effet généralement choisie afin de favoriser les indices de suppléance que procure la lecture sur les lèvres. Toutefois, si la prérogative ainsi accordée aux sons à incidence frontale est souvent souhaitable, il demeure des situations où cette configuration n'est pas optimale, voire à éviter. C'est le cas notamment lorsqu'un nouvel interlocuteur entre dans la pièce, des messages transmis par interphone, ou encore des signaux d'alerte.

La conception d'un microphone directionnel se fonde sur la soustraction acoustique ou électronique de sons similaires captés à deux endroits différents. L'approche acoustique met à contribution un seul microphone possédant deux entrées (figure 1). Un bruit en provenance de l'arrière est d'abord capté à la première entrée. Ralenti par une résistance mécanique, il atteint la surface du diaphragme du microphone en même temps que le même bruit capté successivement à la seconde entrée. En exerçant une pression égale de part et d'autre du diaphragme, les deux signaux pratiquement identiques s'annulent. Par opposition, la parole en provenance de l'avant ne sera pas atténuée en raison du délai provoqué par l'écart physique des deux entrées et par le ralentissement mécanique. L'approche électronique est similaire : le processus met à contribution le signal électrique issu de deux ou d'une série de microphones, et le délai est provoqué électroniquement ou, plus récemment, numériquement (figure 2).

Figure 1
Microphone directionnel à deux entrées

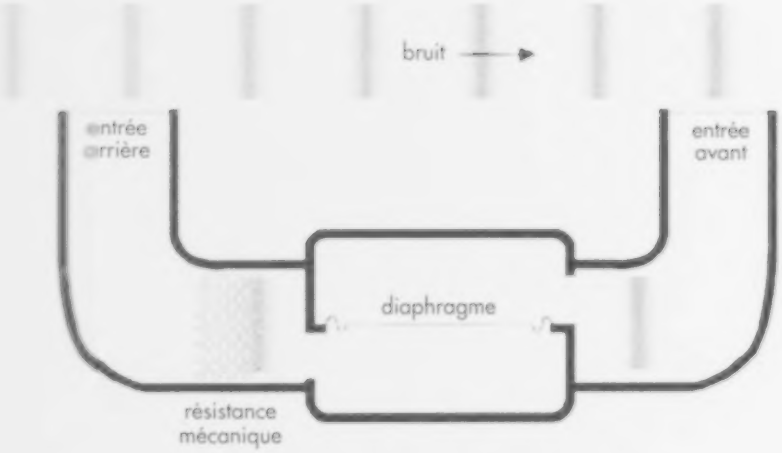
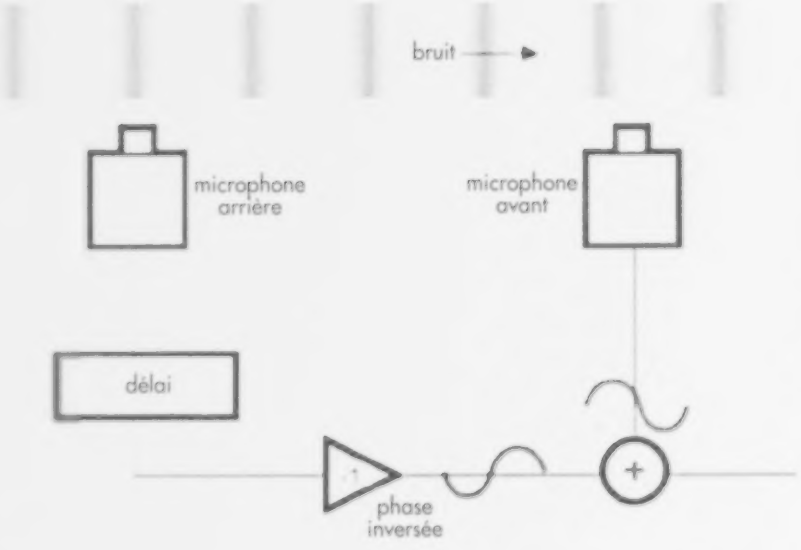


Figure 2
Système directionnel à multimicrophones



3.2 Propriétés

Les propriétés directionnelles du système sont déterminées par le rapport entre le délai temporel provoqué par l'écart physique des entrées du ou des microphones (délai externe) et le délai produit mécaniquement ou électroniquement (délai interne). En raison de l'importance du délai externe pour assurer une directivité fonctionnelle, la solution technologique basée sur l'utilisation d'une série de microphones ne peut être directement appliquée sur les appareils de correction auditive courants de type contour d'oreille ou intra-auriculaire parce qu'ils occupent trop d'espace. Ces systèmes sont alors implantés dans les branches d'appareils de correction auditive sur des lunettes ou sur un collier (figure 3). Les propriétés directionnelles sont généralement exprimées sur un graphique polaire (figures 4 et 5) indiquant la sensibilité du microphone sur les 360 degrés de l'axe horizontal. Les diagrammes polaires de la figure 4 sont issus de conditions de test où le microphone est placé seul en chambre anéchogène. Des indices numériques sont aussi utilisés :

FBR (*front to back ratio* – **rapport des sons avant et arrière**) : différence entre la sensibilité du microphone pour les sons présents à 180 degrés et la sensibilité pour les sons produits à 0 degré.

UI (*unidirectional index* – **indice unidirectionnel**) : rapport de la sensibilité du microphone pour les sons provenant de l'avant (entre 270 et 90 degrés) sur la sensibilité pour les sons provenant de l'arrière (entre 90 et 270 degrés).

DI (*directivity index* – **indice de directivité**) : différence entre la sensibilité du microphone pour les sons provenant directement de l'avant (0 degré) et la sensibilité pour les sons provenant de toutes les autres directions.

AIDI (*articulation index – weighted directivity index* – **indice d'articulation à pondération directionnelle**) : indice de directivité pondéré pour la compréhension de la parole (indice d'articulation).

Figure 3
Implantation d'un système directionnel à multimicrophones sur un collier

Figure 4

Diagrammes polaires de microphones présentant différentes propriétés directionnelles
(Gennum, 2000)

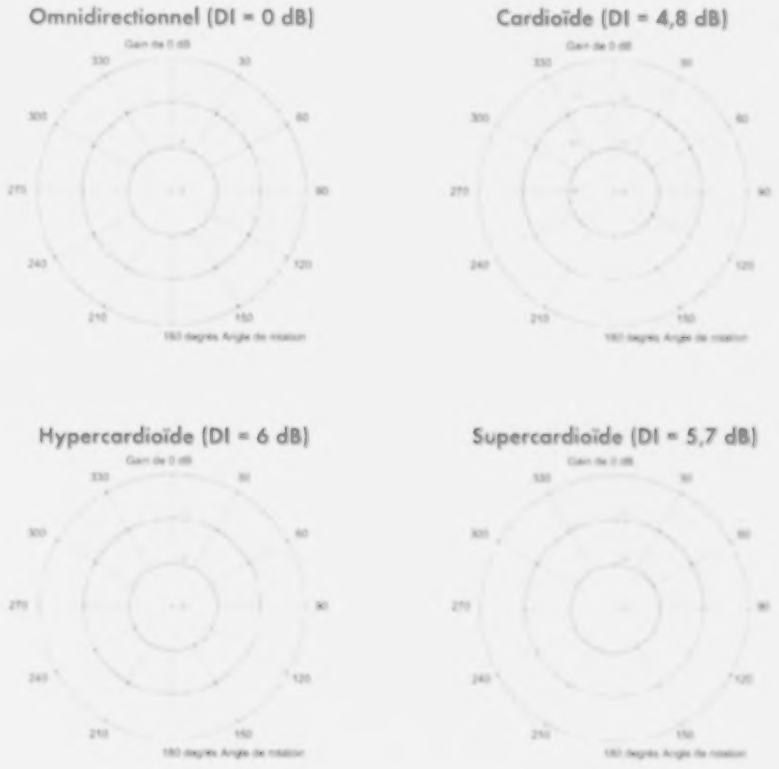


Figure 5

Diagramme polaire à 5 kHz de deux modèles d'appareils de correction auditive à microphone omnidirectionnel mettant en évidence que la position *in situ* produit un effet directif
(Kuhn, 1980)

3.3 Utilisation

Les premiers microphones directionnels ont été introduits dans les appareils de correction auditive au début des années 1970 [Mueller *et al.*, 1981, cité dans Ricketts et Mueller, 1999]. En 1980, les appareils de correction auditive directionnels représentaient près de 20 % des ventes des fabricants. La popularité des aides intra-auriculaires – dans lesquelles, faute d'espace, il était impossible de placer un microphone directionnel – et le scepticisme des chercheurs à l'égard des bénéfices réels que les utilisateurs pouvaient en retirer a par la suite entraîné une diminution graduelle de la demande pour cette solution. Le chercheur Killion et ses collègues [1998] indiquent que les aides directionnelles affichaient alors un indice de directivité (DI) de 1,6 dB, soit un gain comparable à celui obtenu en plaçant la main derrière le pavillon de l'oreille.

Les nouvelles perspectives technologiques, notamment la miniaturisation, ainsi que les avancées dans le traitement électronique et numérique des signaux ont récemment renouvelé l'intérêt des chercheurs pour la directivité des appareils de correction auditive. L'offre et la demande restent cependant faibles : une enquête sommaire révèle que les fabricants canadiens proposent une option directionnelle pour seulement 2 % de leurs produits, et qu'à peine 1 % des aides vendues possèdent cette option. Les consommateurs s'y intéresseraient toutefois de plus en plus. Ils doivent cependant débourser de 100 à 300 $ de plus par appareil. Cette option est intégrée dans plusieurs des nouveaux modèles d'aides entièrement numériques.

4

RÉSULTATS

La stratégie de recherche documentaire a permis de répertorier 17 articles à partir de l'interrogation des banques de données. Dix-neuf documents complémentaires ont été recueillis auprès du groupe d'experts et par la consultation des références citées dans les articles. Dans cette documentation, 24 études rendent compte d'essais cliniques sur des appareils de correction auditive ayant des propriétés directionnelles. Le tableau 3 (a, b, c) résume ces études selon l'approche technologique mise à contribution pour assurer la directivité, soit a) microphone unique et procédé d'annulation acoustique; b) double microphone avec traitement électronique ou numérique des signaux; et c) série de microphones avec traitement électronique ou numérique des signaux. Dans chaque catégorie, les études sont présentées selon un niveau décroissant de preuve scientifique d'après la classification présentée à l'annexe C.

Aucune étude ne propose un plan du plus fort niveau de preuve, soit l'essai croisé randomisé de forte puissance (avec un échantillon de taille suffisante et sans biais affectant la validité interne). Toutes proposent toutefois un essai croisé, certains randomisés, mais de faible puissance, d'autres non. Le plan d'étude classique est basé sur la comparaison de l'intensité sonore nécessaire (seuil) pour assurer une reconnaissance de 50 % des stimuli de parole présentés de face (0° azimut) dans un environnement bruyant sans et avec la contribution des capacités directionnelles de l'appareillage. Les résultats sont exprimés en abaissement du seuil (SRP : seuil de réception de la parole) ou en amélioration du rapport signal/bruit (RSB). La nature et l'origine du bruit ambiant sont variables : certains protocoles sont réalisés dans un contexte courant de communication (reconnaissance de phrases dans un restaurant), d'autres sont typiques de conditions de laboratoire (reconnaissance de mots présentés à 0 degré en milieu contrôlé en présence d'un bruit de bande émis par un haut-parleur localisé à 180 degrés). Les effectifs des échantillons sont généralement restreints.

Tableau 3
Résumé des études sélectionnées selon le principe de directivité et le niveau de preuve scientifique

a) Directivité au moyen d'un microphone

Source Auteur, année (pays)	Méthode			Résultats	Niveau de preuve
	N	Plan d'étude	Variables		
Leeuw et Dreschler, 1991(Pays-Bas)	12 n	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** appareil de correction auditive (omnidirectionnel vs directionnel), direction et niveau du bruit, réverbération, binauralité **Dépendantes :** spectre fréquentiel, SRP dans le bruit (0°, 45°, 90°, 135°, 180°), localisation	SRP avec aide directionnelle < 1,5 à 7 dB Effet de la réverbération Effet de la direction du bruit (milieu non réverbérant)	2
Novick *et al.*, 2001 (États-Unis)	10 s	Essai croisé non randomisé	**Indépendantes :** configuration (omni vs directionnelle), temps de relâche du système de compression, binauralité, réverbération **Dépendante :** reconnaissance de phrases dans le bruit (2 tests)	RSB avec configuration directionnelle > 1,5 à 2,5 dB Pas d'effet du temps de relâche Binaural > monaural Effet de la réverbération Aucun effet significatif avec le second test	2
Killion *et al.*, 1998 (États-Unis)	12 n 24 s	Essai croisé non randomisé	**Indépendantes :** configuration (omni vs directionnelle), environnement simulé (restaurant, rue, musée) **Dépendante :** reconnaissance de phrases dans le bruit	RSB avec configuration directionnelle > 3,5 à 11,5 dB Effet de l'environnement	2
Kuk *et al.*, 1999 (États-Unis)	20 s	Essai croisé non randomisé	**Indépendantes :** appareil de correction auditive (analogique omnidirectionnel personnel vs numérique directionnel), degré de surdité (de légère à moyenne vs de moyenne à profonde) **Dépendantes :** reconnaissance de mots dans le bruit (180°), évaluation (questionnaires)	RSB avec appareil numérique directionnel > 5,5 à 8 dB Effet du degré de surdité Avantage subjectif de l'appareil numérique directionnel	3

n = sujets ayant une audition normale; s = sujets atteints de surdité.

Tableau 3
Résumé des études sélectionnées selon le principe de directivité et le niveau de preuve scientifique (suite)

b) Directivité avec deux microphones

Source Auteur, année (pays)	**Méthode**			**Résultats**	**Niveau de preuve**
	N	Plan d'étude	Variables		
Larsen *et al.*, 1998 (étude décrite dans *May et al.*, 2000) (Danemark)	19 s	Essai croisé randomisé	**Indépendante :** appareil de correction auditive (numérique vs numérique multimicrophones) **Dépendantes :** reconnaissance de monosyllabes dans le bruit (45°, 135°, 225°, 315°), évaluation (échelles, questionnaires)	RSB avec multimicrophones > 3,6 dB Préférence pour les multimicrophones (13/19)	2
Preves *et al.*, 1999 (États-Unis)	10 s	Essai croisé non randomisé	**Indépendante :** configuration (omni vs 2 microphones) **Dépendantes :** reconnaissance de phrases dans le bruit (115° + 245°), jugement (questionnaire, interview, comparaison par paires)	RSB avec 2 microphones > 2,5 dB Préférence non significative pour les 2 microphones Importance de l'option omni et directionnelle	2
Ricketts, 2000b (États-Unis)	25 s	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** appareil de correction auditive (3 marques de commerce), configuration (omni vs directionnelle), réverbération (séjour vs classe), origine du bruit (4 configurations des haut-parleurs) **Dépendante :** reconnaissance de phrases dans le bruit (différents angles)	Seuils en mode directionnel < 1,5 à 7,8 dB Interaction significative du type d'aide, de la réverbération et de la position du bruit	2
Ricketts *et al.*, 2001 (États-Unis)	47 s	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** configuration (omni vs directionnelle), compression (vs linéaire), modèle d'appareil (contour vs intra-auriculaire) **Dépendante :** reconnaissance de phrases dans le bruit (2 tests, bruit diffus par 5 haut-parleurs)	Seuils en mode directionnel < 2,2 à 2,9 dB Reconnaissance en mode directionnel > 13 à 23 % Pas d'effet de la compression Contour < intra-auriculaire L'indice de directivité (DI) prédit la grandeur du bénéfice	2

s = sujets atteints de surdité.

b) Directivité avec deux microphones (suite)

Source Auteur, année (pays)	Méthode			Résultats	Niveau de preuve
	N	Plan d'étude	Variables		
Ricketts, 2000c (États-Unis)	20 s	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** configuration (omni vs directionnelle), binauralité (monaural vs binaural), angle d'écoute (0°, 15°, 30°) **Dépendante :** reconnaissance de phrases dans le bruit (diffus, par 5 haut-parleurs)	Seuils en mode directionnel < 3 à 4,3 dB Effet directionnel > effet binaural + angle d'écoute	2
Walden *et al.*, 2000 (États-Unis)	40 s	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** configuration (omni vs directionnelle), type d'aide (linéaire vs deux canaux analogiques à compression dynamique vs digitale) **Dépendantes :** reconnaissance de phrases dans le bruit, questionnaires (90°, 180°, 270°)	Reconnaissance en mode directionnel > 20 à 30 % Compression dynamique analogique = compression dynamique digitale > linéaire Pas de différence subjective dans l'environnement quotidien	2
Agnew et Block, 1997 (États-Unis)	20 s	Essai croisé randomisé	**Indépendante :** configuration (omni vs 2 microphones) **Dépendante :** reconnaissance de phrases dans le bruit (180°)	RSB avec 2 microphones > 7,5 dB	2
Gravel *et al.*, 1999 (États-Unis)	20 s	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** configuration (omni vs 2 microphones), stimulus (mots vs phrases), âge (de 4 à 6 vs de 7 à 11 ans) **Dépendante :** reconnaissance du stimulus dans le bruit (180°) (2 tests, bruit diffus par 5 haut-parleurs)	RSB avec 2 microphones > 4,7 dB Effet significatif de l'âge Effet significatif du type de stimulus	2
Labonté, 2000 (Canada)	21 n	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** configuration (omni vs 2 microphones), origine du bruit (2 angles) **Dépendante :** SRP dans le bruit (180°, 210°, RSB 0 dB),	SRP avec 2 microphones < 13 dB Pas d'effet de l'angle d'origine du bruit	2
Lurquin et Rafhay, 1996 (Belgique)	20 n 33 s	Essai croisé (non randomisé ?)	**Indépendante :** configuration (audition normale vs omni vs 2 microphones) **Dépendante :** reconnaissance de mots bisyllabiques dans le bruit (180°)	RSB avec 2 microphones > 6,6 dB = normal	2

n = sujets ayant une audition normale; s = sujets atteints de surdité.

b) Directivité avec deux microphones (suite)

Source Auteur, année (pays)	Méthode			Résultats	Niveau de preuve
	N	Plan d'étude	Variables		
Pumford *et al.*, 2000 (Canada)	24 s	Essai croisé randomisé	**Indépendante :** configuration (omni vs directionnelle + algorithme de contrôle du bruit) **Dépendante :** reconnaissance de phrases dans le bruit (diffus, par 4 haut-parleurs)	Seuils en configuration directionnelle + algorithme de contrôle du bruit < 5,8 dB avec un appareil contour, < 3,3 dB avec un appareil intra-auriculaire	2
Ricketts et Dhar, 1999 (États-Unis)	12 s	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** configuration (omni vs directionnelle), appareil de correction auditive (3 marques de commerce), réverbération (milieu anéchogène vs salon) **Dépendante :** reconnaissance de phrases dans le bruit (diffus, 5 haut-parleurs)	Seuils en configuration directionnelle < 5 à 7 dB Effet de la réverbération Pas de différence entre les marques	2
Valente *et al.*, 1995 (États-Unis)	50 s (deux sites)	Essai croisé randomisé	**Indépendante :** configuration (omni vs 2 microphones) **Dépendantes :** reconnaissance de phrases dans le bruit (180°), évaluation (questionnaire)	RSB avec 2 microphones > 7,4 à 8,5 dB Préférence significative pour 2 microphones dans le bruit	2
Wouters *et al.*, 1999 (Belgique)	10 s	Essai croisé non randomisé	**Indépendantes :** appareil de correction auditive (personnel omni vs programmable omni vs 2 microphones), type de bruit (parole, trafic, restaurant), stimulus (mots vs phrases) **Dépendante :** reconnaissance du stimulus dans le bruit (90°)	RSB avec 2 microphones > 3,4 dB	2
Kompis et Dillier, 1994 (Suisse)	9 n 6 s	Essai croisé non randomisé	**Indépendante :** configuration (omni vs directionnelle vs traitement numérique) **Dépendante :** identification de consonnes et de voyelles dans le bruit (45°)	Traitement numérique sur configurations omni et directionnelles > directionnelle > omni	3
Kühnel *et al.*, 2001 (Suisse)	21s	Essai croisé non randomisé	**Indépendante :** configuration (omni vs directionnelle + algorithme de contrôle du bruit) **Dépendantes :** reconnaissance de phrases dans le bruit (180°), évaluation (questionnaires)	Seuils en configuration directionnelle + algorithme de contrôle du bruit < 13,7 dB Préférence subjective pour microphone directionnel + algorithme de contrôle du bruit	3
Warland, 1998 (étude décrite dans May *et al.*, 2000) (Norvège)	22 s	Essai croisé non randomisé	**Indépendante :** appareil de correction auditive (personnel numérique vs multimicrophones) **Dépendantes :** reconnaissance de monosyllabes dans le bruit (0°), évaluation (échelles, questionnaires)	Meilleure performance avec les multimicrophones (16/20) Préférence pour les multimicrophones (17/22)	4

n = sujets ayant une audition normale; s = sujets atteints de surdité.

Tableau 3
Résumé des études sélectionnées selon le principe de directivité et le niveau de preuve scientifique (suite)

c) Directivité avec une série de microphones

Source Auteur, année (pays)	**Méthode**			**Résultats**	**Niveau de preuve**
	N	Plan d'étude	Variables		
Saunders *et* Kates, 1997 (États-Unis)	16 s	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** microphone (omni vs cardioïde vs 2 configurations de séries), réverbération (bureau vs salle de conférence) **Dépendante :** SRP dans le bruit (60°, 105°, 180°, 255°, 300°)	SRP avec série superdirectionnelle < 4,7 à 6,2 dB Cardioïde < 1,9 à 4,3 dB Série avec traitement numérique < 0,9 à 1,5 dB Effet significatif de la réverbération	2
Hoffman *et al.*, 1994 (États-Unis)	10 n	Essai croisé non randomisé	**Indépendantes :** nombre de microphones (1 vs 3 vs 7), réverbération (milieu anéchogène vs salon vs salle de conférence) **Dépendante :** reconnaissance de mots bisyllabiques dans le bruit (45°)	RSB avec série de 7 microphones > 3,1 à 22,7 dB RSB avec série de 3 microphones > 1,4 à 15,4 dB Effet de la réverbération	3
Bilsen *et al.*, 1993 (Pays-Bas)	30 n 45 s	Essai croisé randomisé	**Indépendantes :** microphone (omni vs série), surdité (sujets à audition normale vs malentendants) **Dépendante :** SRP dans le bruit (diffus)	RSB avec série > 6,8 à 7 dB	4

n = sujets ayant une audition normale; s = sujets atteints de surdité.

Directivité au moyen d'un microphone

On a répertorié très peu d'études publiées depuis 1990 dans lesquelles l'approche acoustique a été mise à contribution pour assurer la directivité des appareils de correction auditive. Ce constat met en évidence la prédilection des fabricants pour les formules contemporaines à multimicrophones et l'abandon d'une stratégie jugée moins efficace dès les années 1980. Les conclusions d'une étude réalisée aux Pays-Pas appuient cette orientation : si en situation optimale d'écoute (cabine insonore, bruit compétitif à 180 degrés) un avantage de l'ordre de 7 dB est noté en faveur de la technique directionnelle, cet avantage devient moins marqué en milieu réverbérant (autour de 1,5 dB) [Leeuw et Dreschler, 1991]. Selon les auteurs, le gain n'apparaît pas suffisamment important pour procurer un bénéfice significatif à la personne malentendante en situation courante de communication. Des microphones directionnels plus efficaces doivent être mis au point.

En ce sens, des chercheurs américains proposent une nouvelle approche technique : une capsule contenant à la fois un microphone omnidirectionnel et un microphone directionnel, chacun optimisé pour sa fonction, est intégrée à un appareil de correction auditive intra-auriculaire [Killion *et al.*, 1998]. Sous réserve des carences méthodologiques de l'étude, les avantages de ce microphone directionnel apparaissent importants, d'autant plus que les mesures ont été recueillies dans des situations réelles de communication. Ce même microphone a été utilisé dans une autre étude, avec des résultats toutefois plus réservés [Novick *et al.*, 2001].

Directivité au moyen de deux microphones

L'application de la directivité par l'utilisation de deux microphones a fait l'objet d'une attention particulière au cours de la dernière décennie. De fait, la majorité des études répertoriées ont mis à contribution cette solution technologique. Indépendamment de la force de la preuve scientifique, ces études concluent unanimement à un avantage de 1,5 à 8,5 dB en faveur des appareils de correction auditive directionnels, les meilleures performances étant généralement observées dans des conditions d'écoute favorables. Ainsi, le gain important de 13 dB signalé dans une étude faite au Québec [Labonté, 2000] serait favorisé par la localisation des sources de bruit et le recrutement de sujets présentant une audition normale.

Directivité au moyen d'une série de microphones

Les systèmes basés sur une série de microphones tentent de pousser plus loin le principe de l'amélioration de la directivité par l'annulation du bruit provenant de toute direction. Réaliser de tels systèmes à la fois efficaces et ergonomiques est d'une complexité telle que cette solution technologique relève encore plus du domaine expérimental que de l'application commerciale. Les études répertoriées montrent toutes un avantage de l'ordre de 1,4 à 22,77 dB pour l'approche directionnelle par multimicrophones. Comme pour les autres solutions, l'application dans un milieu d'écoute non optimal en réduit l'efficacité. Cette baisse de performance semble toutefois moins affecter les formules mettant à contribution un plus grand nombre de microphones.

5

DISCUSSION

Indépendamment de la solution technologique mise à contribution, toutes les études répertoriées, soit autant celles à niveau de preuve intermédiaire que faible, montrent que les appareils de correction auditive possédant des propriétés directionnelles offrent un avantage pour la compréhension de la parole dans le bruit. Ce bénéfice est optimal dans les conditions d'écoute où le bruit et le locuteur sont respectivement localisés à l'arrière et à l'avant de la personne malentendante située dans un environnement peu réverbérant. En situation d'écoute plus représentative de la réalité quotidienne, où le bruit est diffus et le milieu réverbérant, cet avantage diminue jusqu'à devenir comparable à celui que procurent les appareils de correction auditive traditionnels à microphones omnidirectionnels.

Ces constats concordent avec les conclusions d'une méta-analyse réalisée sur 18 études, incluant celles qui ont été retenues ici [Amlani, 2001]. Les critères de sélection des études pour l'analyse comprenaient l'utilisation d'appareils de correction auditive du commerce, l'application de la directivité par un ou deux microphones et le classement de la performance en fonction de l'amélioration du rapport signal/bruit. Soixante-douze essais (regroupant au total 1057 sujets) ont ainsi été recensés sur la configuration omnidirectionnelle, contre 74 études (totalisant 1086 sujets) sur la configuration directionnelle. La compilation des performances montre un avantage global de 4 dB pour l'approche directionnelle dans un environnement peu réverbérant et lorsque la source et le bruit sont dans une position distincte, soit 0° versus 90° ou 180°. Cet avantage disparaît dans un milieu réverbérant et lorsque le bruit est diffus.

La solution technologique basée sur des séries de microphones apparaît, *a priori*, plus robuste dans un environnement dégradé. Les considérations ergonomiques restreignent toutefois l'applicabilité de cette approche. Aussi plusieurs algorithmes peuvent-ils être utilisés pour le traitement des signaux en provenance de plusieurs microphones et, théoriquement, produire des propriétés directionnelles différentes. Des études supplémentaires bien contrôlées sont donc nécessaires pour explorer ces solutions de rechange et confirmer les avantages de cette approche. Pareillement, les bénéfices que le chercheur Killion et ses collègues [1998] ont constatés au sujet de la nouvelle capsule microphonique directionnelle doivent être confirmés par des études comparatives.

Selon les informations disponibles, on ne peut conclure avec certitude à l'efficacité de la solution technique à un seul microphone : elle doit donc être encore désignée « expérimentale » selon la classification adoptée en 1994 par l'AETMIS[1]. Cette

1. Selon la classification adoptée en 1994 par l'AETMIS (connue alors sous le nom de Conseil d'évaluation des technologies de la santé du Québec), une technologie est désignée :

- « acceptée » lorsqu'il s'agit d'une technologie établie, pour laquelle on dispose d'une longue expérience d'utilisation et d'une connaissance ou, à défaut, d'une acceptation universelle de son efficacité dans toutes ses applications;
- « innovatrice » lorsqu'il s'agit d'une technologie qui a dépassé le stade expérimental et dont l'efficacité est établie, mais qui, à cause du manque d'expérience, reste encore avec des modalités d'application et même des indications imprécises; pour cette technologie, afin d'améliorer le niveau de connaissances, il est important de recueillir de façon systématique toute l'information tirée de son application et de la communiquer au monde médical, que ce soit sous forme d'un rapport de recherche clinique, d'un compte rendu systématique ou d'un registre approprié; afin de promouvoir ces objectifs et d'éviter une application générale prématurée, cette technologie ne doit être utilisée que dans certains centres autorisés, là où les ressources et les connaissances requises sont disponibles;
- « expérimentale » lorsqu'il s'agit d'une technologie dont l'efficacité n'a pas encore été établie; on ne s'attend donc pas à ce qu'une telle technologie soit utilisée dans les établissements dispensant des soins de santé, sauf dans le cadre de projets de recherche, ni qu'elle fasse partie des services assurés par l'État.

conclusion dépend autant de la faiblesse des avantages cliniques dans un milieu réverbérant que du peu de validité des études répertoriées. Cette désignation est cependant biaisée par la fenêtre d'analyse excluant les travaux réalisés avant 1990. Elle s'applique toutefois aux nouvelles applications telles que la capsule microphonique.

La formule à deux microphones peut par contre être désignée « acceptée », mais pour des applications spécifiques. En effet, la démonstration de son efficacité dans des conditions particulières d'écoute est récurrente au sein des études à plus fort niveau de preuve. Ainsi, dans les situations où le signal d'intérêt est placé à l'avant et où le bruit compétitif vient de l'arrière dans un environnement peu réverbérant, l'approche directionnelle apparaît efficace. C'est le cas, par exemple, de l'élève placé face au professeur dans la première rangée d'une classe dont les propriétés acoustiques sont contrôlées par la présence de tuiles acoustiques, de rideaux ou de tapis. Le gain au chapitre du rapport signal/bruit pourrait théoriquement permettre une amélioration de la compréhension de la parole allant jusqu'à 60 %. Cependant, plus on s'éloigne des conditions optimales, moins cette formule est efficace. Le gain peut même être nul dans des environnements courants tels qu'une église ou une salle de conférence (milieux réverbérants), un centre commercial ou une industrie (bruit diffus).

La solution à multimicrophones apparaît intéressante puisqu'elle cherche à annuler le bruit provenant de toute direction. En raison du nombre restreint d'études cliniques à fort niveau de preuve faisant état de son efficacité et de la nécessité de résoudre les difficultés ergonomiques, elle reste toutefois une approche « expérimentale ».

En plus des indications spécifiées ci-dessus, les intervenants en santé auditive doivent être prudents lorsqu'ils recommandent un appareil de correction auditive présentant des propriétés directionnelles, lorsqu'ils le sélectionnent et lorsqu'ils en assurent le suivi. En effet, la sélection de l'option de directivité vise à favoriser l'audibilité des signaux en provenance de l'avant au détriment de ceux des autres directions. Or, dans les situations où le signal d'intérêt provient de ces autres directions, par exemple lors de l'intervention d'autres élèves en classe, de collègues au cours d'une réunion au bureau, ou d'un signal d'alerte au travail, le recours à un appareil de correction auditive directionnel n'est pas indiqué, voire nuisible. Quelques appareils offrent la possibilité d'alterner les modes omnidirectionnel et directionnel par l'entremise d'un interrupteur placé sur le boîtier de l'aide ou sur une télécommande. Cette solution n'apparaît cependant applicable que pour les personnes ayant les capacités physiques et cognitives nécessaires pour utiliser cette fonction au bon moment et au bon endroit [Kuk, 2000].

Par ailleurs, les spécifications du fabricant relatives aux propriétés directionnelles d'un appareil de correction auditive particulier peuvent être erronées en raison de l'effet significatif de l'ajout d'un évent et de la position du ou des microphones [Ricketts, 2000a]. De plus, comme les propriétés électroacoustiques des transducteurs sont susceptibles de se modifier en raison du vieillissement de leurs composantes, en particulier dans des conditions de température et d'humidité extrêmes [Kuk, 2000], les propriétés directionnelles ne sont pas nécessairement stables dans le temps.

6

CONCLUSION

Toutes les études faisant état de l'efficacité clinique des appareils de correction auditive possédant des propriétés directionnelles ne présentent qu'un niveau de preuve intermédiaire. Les quelques travaux disponibles permettent de classer les solutions à microphone unique de même que les formules basées sur des séries de microphones dans la catégorie des technologies expérimentales. Il faudra procéder à des études comparatives supplémentaires pour confirmer l'efficacité de ces solutions.

Les approches mettant à contribution une paire de microphones peuvent pour leur part être considérées comme des technologies acceptées, mais seulement dans des conditions d'écoute optimales, alors que le locuteur et le bruit sont diamétralement opposés dans un espace peu réverbérant. L'application de cette technologie dans d'autres conditions altère, parfois grandement, son efficacité. Ainsi, si son indication dans un contexte moins optimal (bruit moins localisé, réverbération contrôlée) peut parfois être justifiée malgré un bénéfice moindre, le recours à cette technologie dans un milieu bruyant ou réverbérant apparaît inefficace. Les modalités d'attribution de l'option de directivité doivent enfin prendre en compte les capacités physiques et cognitives du candidat à utiliser les propriétés directionnelles de façon judicieuse.

ANNEXES

ANNEXE A – COUVERTURE DU PROGRAMME D'AIDES AUDITIVES ET MODALITÉS D'ACCÈS

Tableau A1a
Couverture du programme d'aides auditives selon l'âge de la personne assurée

		Services assurés		
Âge de la personne assurée	Type d'aides assurées	Achat initial et remplacement	Réparation durant la période de garantie	Réparation après la période de garantie
0-5 ans	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA* (système MF** seulement)			
6-11 ans	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA (sauf système MF)			
12-18 ans	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA (sauf système MF s'il s'agit d'un élève du primaire ou du secondaire)			
19-74 ans non étudiant	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA (sauf système MF)			
19-74 ans étudiant	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA			
75 ans ou plus	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA			

* ASA = aide de suppléance à l'audition.
** Système MF = système de modulation de fréquence.
Sources : a) Régie de l'assurance maladie du Québec. Programmes et services assurés – Les aides auditives. [En ligne]. http://www.ramq.gouv.qc.ca/crc/citoyen/progservass/auditive.shtml (page consultée le 26 février 2003).
b) Règlement sur les aides auditives assurées en vertu de la Loi sur l'assurance maladie. L.R.Q., c. A-29, r.0.02.

Tableau A1b

Modalités d'accès au programme d'aides auditives selon l'âge de la personne assurée

		Documents requis – émetteurs autorisés				
Âge de la personne assurée	Type d'aides assurées	Certificat médical	Audiogramme	Attestation de la nécessité d'une prothèse	Recommandation d'une ASA	Attestation de fréquentation scolaire
0-5 ans	prothèse auditive	ORL***	—	Audiologiste	—	—
	ASA* (système MF** seulement)	ORL	—	—	Audiologiste	—
6-11 ans	prothèse auditive	ORL	—	Audiologiste	—	—
	ASA (sauf système MF)	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	—
12-18 ans	prothèse auditive	ORL	ORL ou audiologiste	ORL ou audiologiste	—	—
	ASA (sauf système MF s'il s'agit d'un élève du primaire ou du secondaire)	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	—
19-74 ans non étudiant	prothèse auditive	ORL	ORL ou audiologiste	ORL ou audiologiste	—	—
	ASA (sauf système MF)	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	—
19-74 ans étudiant	prothèse auditive	ORL	ORL ou audiologiste	ORL ou audiologiste	—	—
	ASA	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	École, collège, université
75 ans ou plus	prothèse auditive	ORL	Audiologiste	Audiologiste	—	—
	ASA	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	—

* ASA = aide de suppléance à l'audition.

** Système MF = système de modulation de fréquence.

*** ORL = oto-rhino-laryngologiste.

Sources : a) Régie de l'assurance maladie du Québec. Programmes et services assurés – Les aides auditives. [En ligne]. http://www.ramq.gouv.qc.ca/crc/citoyen/progservass/auditive.shtml (page consultée le 26 février 2003).

b) Règlement sur les aides auditives assurées en vertu de la Loi sur l'assurance maladie. L.R.Q., c. A-29, r.0.02.

ANNEXE B – GRILLE DE LECTURE

Grille de lecture d'un article thérapeutique [ANAES, 2000]

Titre et auteur de l'article : _____

Rev./Année/Vol./Pages _____

Thème de l'article : _____

	OUI	NON	?
1. Les objectifs sont clairement définis	❑	❑	❑
2. Méthodologie de l'étude			
• L'étude est comparative	❑	❑	❑
- *l'étude est prospective*	❑	❑	❑
- *l'étude est randomisée*	❑	❑	❑
• Le calcul du nombre de patients a été fait *a priori*	❑	❑	❑
• La population de l'étude correspond à la population habituellement traitée	❑	❑	❑
• Toutes les variables cliniquement pertinentes sont prises en compte	❑	❑	❑
• L'analyse statistique est adaptée	❑	❑	❑
• L'analyse est faite en intention de traiter	❑	❑	❑
3. Les résultats sont cohérents avec l'objectif de l'étude et tiennent compte d'éventuels effets secondaires	❑	❑	❑
4. Applicabilité clinique			
• La signification clinique est donnée	❑	❑	❑
• Les modalités de traitement sont applicables en routine	❑	❑	❑

Commentaires : _____

_____

_____

_____

ANNEXE C – CLASSIFICATION DU NIVEAU DE PREUVE

Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature [ANAES, 2000]

Niveau 1 (fort niveau de preuve ou preuve scientifique établie)

- Essais comparatifs randomisés de forte puissance
- Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés
- Analyse de décision basée sur des études bien menées

Niveau 2 (*niveau intermédiaire de preuve ou présomption scientifique*)

- Essais comparatifs randomisés de faible puissance
- Études comparatives non randomisées bien menées
- Études de cohorte

Niveau 3 (faible niveau de preuve scientifique)

- Études cas-témoins

Niveau 4 (faible niveau de preuve scientifique)

- Études comparatives comportant des biais importants
- Études rétrospectives
- Série de cas
- Études épidémiologiques descriptives (transversales, longitudinales)

RÉFÉRENCES

Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (ANAES). Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations. Paris : ANAES; 2000.

Agnew J, Block M. HINT thresholds for a dual-microphone BTE. Hear Rev 1997;4:26-30.

Amlani AM. Efficacy of directional microphone hearing aids: a meta-analytic perspective. J Am Acad Audiol 2001;12:202-14.

Bilsen F, Soede W, Berkhout AJ. Development and assessment of two fixed-array microphones for use with hearing aids. J Rehabil Res Dev 1993;30:73-81.

Gennum Corp. Directional hearing aid tutorial (CD-ROM). Burlington : Gennum Corp.; 2000.

Gravel JS, Fausel N, Liskow C, Chobot J. Children's speech recognition in noise using omni-directional and dual-microphone hearing aid technology. Ear Hear 1999;20:1-11.

Hoffman MW, Trine TD, Buckley KM, Van Tasell DJ. Robust adaptative microphone array processing for hearing aids: realistic speech enhancement. J Acoust Soc Am 1994;96:759-70.

Killion M. SNR loss: I can hear what people say, but I can't understand them. Hear Rev 1997;4.

Killion M, Schulein R, Christensen L, Fabry D, Revit L, Niquette P, Chung K. Real-world performance of an ITE directional microphone. Hear J 1998;51:24-38.

Kompis M, Dillier N. Noise reduction for hearing aids: combining directional microphones with an adaptive beamformer. J Acoust Soc Am 1994;96:1910-3.

Kuhn GF. Some effects of microphone location, signal bandwidth, and incident wave field on the hearing aid input signal. Dans : Studebaker GA, Hochberg I. Acoustical factors affecting hearing aid performance. Baltimore : University Park Press; 1980: 55-80.

Kühnel V, Margolf-Hackl S, Kiessling J. Multi-microphone technology for severe-to-profound hearing loss. Scand Audiol Suppl 2001;30 Suppl 52:65-8.

Kuk F, Baekgaar L, Ludvigsen C. Design considerations in directional microphones. [En ligne]. www.hearingreview.com/Articles.ASP?articleid=H0009F06 (page consultée en janvier 2001).

Kuk FK, Kollofski C, Brown S, Melum A, Rosenthal A. Use of a digital hearing aid with directional microphones in school-aged children. J Am Acad Audiol 1999;10:535-48.

Labonté MP. Les effets de directivité des microphones à effet d'annulation des aides de correction auditive sur la reconnaissance de la parole en classe [travail dirigé]. Montréal (Québec) : Université de Montréal; 2000.

Leeuw AR, Dreschler WA. Advantages of directional hearing aid microphones related to room acoustics. Audiol 1991;30:330-4.

Lurquin P, Rafhay S. Intelligibility in noise using multimicrophone hearing aid. Acta Otolaryngol Belg 1996;50:103-9.

May AM, Larsen CB, Warland A. Multi-microphone instruments, DSP and hearing-in-noise. Tech Topic 2000:1-4

Mueller HG, Grimes AM, Jerome JJ. Performance-intensity functions as a predictor for binaural amplification. Ear Hear 1981;2:211-4.

Novick ML, Bentler RA, Dittberner AD, Flamme GA. Effects of release time and directionality on unilateral and bilateral hearing aid fittings in complex sound fields. J Am Acad Audiol 2001;12:534-44.

Pumford JM, Seewald RC, Scollie SD, Jenstad LM. Speech recognition with in-the-ear and behind-the-ear dual-microphone hearing instruments. J Am Acad Audiol 2000; 11:23-35.

Preves DA, Sammeth CA, Wynne MK. Field trial evaluations of a switched directional/omnidirectional in-the-ear hearing instrument. J Am Acad Audiol 1999;10:273-84.

Ricketts T. Directivity quantification in hearing aids: fitting and measurement effects. Ear Hear 2000a;21:45-58.

Ricketts T. Impact of noise source configuration on directional hearing aid benefit and performance. Ear Hear 2000b;21:194-205.

Ricketts T. The impact of head angle on monaural and binaural performance with directional and omnidirectional hearing aids. Ear Hear 2000c;21:318-28.

Ricketts T, Dhar S. Comparison of performance across three directional hearing aids. J Am Acad Audiol 1999;10:180-9.

Ricketts T, Mueller HG. Making sense of directional microphone hearing aids. Am J Audiol 1999;8:117-27.

Ricketts T, Lindley G, Henry P. Impact of compression and hearing aid style on directional hearing aid benefit and performance. Ear Hear 2001;22:348-61.

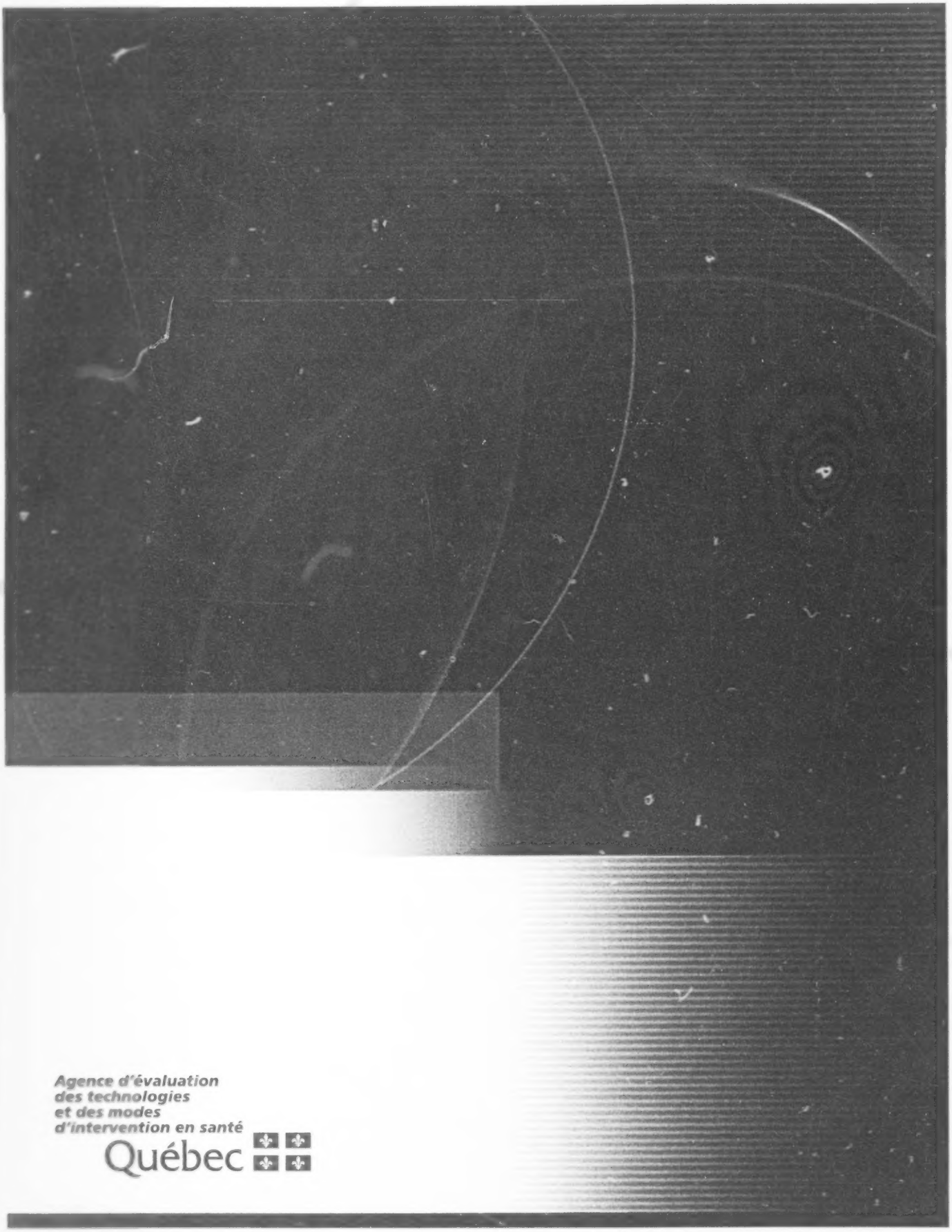
Saunders GH, Kates JM. Speech intelligibility enhancement using hearing-aid array processing. J Acoust Soc Am 1997;102:1827-37.

Soli SD, Nilsson M. Assessment of communication handicap with the HINT. Hear Instrum 1994;45(2):12,15-6.

Valente M, Fabry DA, Potts, LG. Recognition of speech in noise with hearing aids using dual microphones. J Am Acad Audiol 1995;6:440-9.

Walden BE, Surr RK, Cord MT, Edwards B, Olson L. Comparison of benefits provided by different hearing aid technologies. J Am Acad Audiol 2000;11:540-60.

Wouters J, Litière L, Van Wieringen A. Speech intelligibility in noisy environments with one- and two-microphone hearing aids. Audiol 1999;38:91-8.



Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé

Québec